

**ELIANE PETERSOHN**

**EVOLUÇÃO TÉRMICA DE *SILLS* ENCAIXADOS NAS FORMAÇÕES IRATI E  
PONTA GROSSA (BACIA DO PARANÁ) NO ESTADO DO PARANÁ –  
CONTRIBUIÇÃO PARA O ENTENDIMENTO DA EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS  
PETROLÍFEROS IRATI – RIO BONITO/PIRAMBÓIA E PONTA GROSSA –  
ITARARÉ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Exploratória, curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleonora Maria Vasconcellos Vanzela

Co-orientadores: Prof. Dr. Paulo César Soares  
Dr. Otávio Augusto Boni Licht

**CURITIBA  
2006**

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial a Eleonora Maria Vasconcellos Vanzela pelos ensinamentos, incentivo, orientação da pesquisa, discussões e leitura crítica dos textos e da versão final desta dissertação, assim como pela grande amizade.

Aos meus co-orientadores Paulo César Soares e Otávio Augusto Boni Licht pelas sugestões para o desenvolvimento do tema e também pela discussão em várias etapas do trabalho.

Aos professores João Carlos Biondi e Cristina Valle Pinto Coelho pelas correções e sugestões feitas neste trabalho.

Ao professor Keith Putirka do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Estado da Califórnia, EUA, pelas sugestões e discussões que enriqueceram este trabalho.

A Roger Baudino (Repsol-YPF) pela troca de informações e pelas sugestões na versão do resumo para o inglês.

A Universidade Federal do Paraná e ao curso de Pós-Graduação em geologia pela infraestrutura.

A Fundação Araucária e CNPq/CTPETRO pelo suporte financeiro e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná e toda sua equipe pela preparação e análise química das amostras.

Ao professor José Manoel dos Reis Neto pelo empréstimo do veículo e auxílio financeiro para realização dos trabalhos de campo.

A Kelita Lopes pela colaboração nos estudos petrográficos e de química mineral, análises laboratoriais, digitalização de mapas, confecção de figuras e ilustrações, e pela amizade.

A Alice Bonato de Castro pelo auxílio nas atividades de campo e pela disposição concedida nas etapas finais deste trabalho, especialmente nas questões burocráticas.

A minha família pelo apoio incondicional e irrestrito.

A todos meus amigos que, pela simples presença, tornaram meus dias mais felizes.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	v
<b>LISTA DE TABELAS</b>	viii
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS</b>	ix
<b>RESUMO</b>	xi
<b>ABSTRACT</b>	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	3
1.3 OBJETIVOS	5
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>6</b>
2.1 ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ	6
2.2 ROCHAS VULCÂNICAS DA BACIA DO PARANÁ	12
2.3 <i>SILLS</i> NA BACIA DO PARANÁ	15
<b>3 MÉTODOS DE TRABALHO</b>	<b>19</b>
3.1 AQUISIÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	19
3.2 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO	20
3.3 PETROGRAFIA	21
3.4 GEOQUÍMICA	21
3.5 QUÍMICA MINERAL	22
3.6 CÁLCULOS DE TEMPERATURA E PRESSÃO	22
3.7 MODELAGEM GEOQUÍMICA DAS INTRUSÕES	23
3.8 MODELAGEM TÉRMICA DAS INTRUSÕES	23
3.8.1 Determinação da Composição dos Plagioclásios	24
<b>4 GEOLOGIA DOS CORPOS INTRUSIVOS</b>	<b>31</b>
4.1 <i>SILL</i> DE RESERVA	33
4.2 <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS	36
4.3 <i>SILL</i> DE IRATI	39
4.4 <i>SILL</i> DE REBOUÇAS	41
4.5 <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA	43
<b>5 QUÍMICA MINERAL</b>	<b>47</b>
5.1 PLAGIOCLÁSIOS	47
5.2 PIROXÊNIOS	53
5.3 OLIVINA	57
5.4 ÓXIDOS	58
5.5 ANFIBÓLIOS	59
<b>6 MODELAGEM GEOQUÍMICA</b>	<b>61</b>
6.1 <i>SILL</i> DE RESERVA	64
6.2 <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS	66
6.3 <i>SILL</i> DE IRATI	68
6.4 <i>SILL</i> DE REBOUÇAS	69
6.5 <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA	70
<b>7 GEOTERMOBAROMETRIA</b>	<b>72</b>
7.1 GEOTERMOBAROMETRIA EM CLINOPIROXÊNIOS	75
7.2 GEOTERMOBAROMETRIA EM PLAGIOCLÁSIOS	84
7.3 CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO	93
<b>8 MODELAGEM BIDIMENSIONAL E TRIDIMENSIONAL</b>	<b>96</b>

8.1 MODELAGEM TÉRMICA .....	96
8.2 MODELAGEM DE VARIÁVEIS GEOQUÍMICAS.....	101
<b>9 CONCLUSÕES .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNCIDE .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	–	MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DA ÁREA I, COM LOCALIZAÇÃO DOS <i>SILLS</i> ENCAIXADOS NA FORMAÇÃO IRATI (FONTE: MINEROPAR, 2001) .....	4
FIGURA 2	–	MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DA ÁREA II, COM LOCALIZAÇÃO DOS <i>SILLS</i> ENCAIXADOS NA FORMAÇÃO PONTA GROSSA (FONTE: MINEROPAR, 2005) .....	4
FIGURA 3	–	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO COM AS PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO .....	5
FIGURA 4	–	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO PARANÁ NA AMÉRICA DO SUL (ZALÁN <i>ET AL.</i> , 1990) .....	7
FIGURA 5	–	CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ (MILANI <i>ET AL.</i> 1994) .....	8
FIGURA 6	–	MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO DA BACIA DO PARANÁ (MILANI, 2004) .....	11
FIGURA 7	–	MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DA PORÇÃO CENTRO-LESTE DA BACIA DO PARANÁ, DESTACANDO OS PRINCIPAIS LINEAMENTOS TECTÔNICOS E/OU MAGNÉTICOS (RAPOSO, 1995) ....	13
FIGURA 8	–	DIAGRAMA BINÁRIO TENDO NA ABSCISSA A CONCENTRAÇÃO DE SiO <sub>2</sub> OBTIDA A PARTIR DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA VS. CONCENTRAÇÃO DE SiO <sub>2</sub> OBTIDA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA POR MEIO DA NORMA CIPW (r'=COEFICIENTE DE SPEARMAN) .....	26
FIGURA 9	–	DIAGRAMA BINÁRIO TENDO NA ABSCISSA A CONCENTRAÇÃO DE Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OBTIDA A PARTIR DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA VS. CONCENTRAÇÃO DE Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> OBTIDA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA POR MEIO DA NORMA CIPW .....	27
FIGURA 10	–	DIAGRAMA BINÁRIO TENDO NA ABSCISSA A CONCENTRAÇÃO DE CaO OBTIDA A PARTIR DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA VS. CONCENTRAÇÃO DE CaO OBTIDA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA POR MEIO DA NORMA CIPW .....	27
FIGURA 11	–	DIAGRAMA BINÁRIO TENDO NA ABSCISSA A CONCENTRAÇÃO DE Na <sub>2</sub> O OBTIDA A PARTIR DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA VS. CONCENTRAÇÃO DE Na <sub>2</sub> O OBTIDA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA POR MEIO DA NORMA CIPW .....	28
FIGURA 12	–	DIAGRAMA BINÁRIO TENDO NA ABSCISSA A CONCENTRAÇÃO DE K <sub>2</sub> O OBTIDA A PARTIR DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA VS. CONCENTRAÇÃO DE K <sub>2</sub> O OBTIDA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA POR MEIO DA NORMA CIPW .....	28
FIGURA 13	–	MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DO <i>SILL</i> DE RESERVA COM LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DESCRITOS E AMOSTRADOS (MANIESI, 1991) .....	34
FIGURA 14	–	MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS COM LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS AFLORAMENTOS .....	37
FIGURA 15	–	MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DO <i>SILL</i> DE IRATI COM LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS DESCRITOS (MINEROPAR, 1983) .....	40
FIGURA 16	–	MAPA GEOLÓGICO DO <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA LOCALIZADO NO BAIRRO VILA CIPA, COM LOCALIZAÇÃO DO AFLORAMENTO DESCRITO E AMOSTRADO (CPRM, 1977).....	43

FIGURA 17 –	FOTOMICROGRAFIAS EM LUZ POLARIZADA DE PLAGIOCLÁSIOS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS APRESENTANDO AS PRINCIPAIS VARIAÇÕES TEXTURAIS OBSERVADAS. (A) BASALTO COM FENOCRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO DISPOSTO EM MATRIZ FINA, COMPOSTA POR PLAGIOCLÁSIO, PIROXÊNIO E MINERAIS OPACOS; (B) FENOCRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO EM MICROGABRO COM INTERCRESCIMENTO MIRMEQUITÍCO NAS BORDAS; (C) E (D) FENOCRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO COM ZONEAMENTO COMPOSICIONAL EM AMOSTRA DE MICROGABRO; (E) CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIOS FIBRO-RADIADOS CONFIGURANDO TEXTURA ESFERULÍTICA; (F) MICROGABRO EXIBINDO FENOCRISTAL DE PLAGIOCLÁSIO.....	47
FIGURA 18 –	HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES DE ANORTITA NOS PLAGIOCLÁSIOS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	49
FIGURA 19 –	VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DOS PLAGIOCLÁSIOS NOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. (A) DIAGRAMA TERNÁRIO (OR-AB-AN) DE DEER <i>ET AL.</i> (2003) PARA FELDSPATOS COM A VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DE NÚCLEO E BORDA DOS FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E MATRIZ NOS BASALTOS E MICROGABROS DE TODOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS; (B) <i>SILL</i> DE RESERVA; (C) <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS; (D) <i>SILL</i> DE IRATI; (E) <i>SILL</i> DE REBOUÇAS E (F) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	50
FIGURA 20 –	VARIAÇÃO NO COMPONENTE AN (ANORTITA) NOS FENOCRISTAIS E MICROFENOCRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIO. OS PONTOS A E B SÃO LOCAIS DE ANÁLISE POR MICROSSONDA ELETRÔNICA E REPRESENTAM NÚCLEO E BORDA, RESPECTIVAMENTE .....	51
FIGURA 21 –	DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO PARA OS ÓXIDOS DE CÁLCIO (A) E SÓDIO (B) VS. SÍLICA, MOSTRANDO ZONEAMENTO DOS FENOCRISTAIS COM NÚCLEOS RELATIVAMENTE MAIS CÁLCICOS E BORDAS, CRISTALIZADAS MAIS TARDE, COMPARATIVAMENTE ENRIQUECIDAS EM SÓDIO .....	51
FIGURA 22 –	DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO PARA Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, SiO <sub>2</sub> E K <sub>2</sub> O TENDO O COMPONENTE AN (ANORTITA) COMO ÍNDICE DE DIFERENCIAÇÃO ..	52
FIGURA 23 –	FOTOMICROGRAFIAS EM LUZ POLARIZADA DE PIROXÊNIOS DOS BASALTOS E MICROGABROS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. (A) FENOCRISTAL DE PIROXÊNIO DISPOSTO EM MATRIZ FINA, CARACTERIZANDO TEXTURA OFÍTICA EM MICROGABRO; (B) CRISTAIS DE PIROXÊNIO ARREDONDADOS E INTERSTICIAIS AOS CRISTAIS DE LABRADORITA, CARACTERIZANDO TEXTURA INTERGRANULAR EM AMOSTRA DE BASALTO; (C) E (D) FENOCRISTAIS DE PIROXÊNIO EM AMOSTRA DE MICROGABRO .....	54
FIGURA 24 –	DIAGRAMA QUAD (CA+MG+FE <sup>2+</sup> ) – J (2NA) DE MORIMOTO (1988) PARA CLINOPIROXÊNIOS DAS ROCHAS INVESTIGADAS .....	54
FIGURA 25 –	VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DOS CLINOPIROXÊNIOS PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. (A) DIAGRAMA TERNÁRIO (EN – FS – WO) DE MORIMOTO (1988) PARA CLINOPIROXÊNIOS APRESENTANDO A VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DE BORDA E NÚCLEO DOS FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E MATRIZ NOS BASALTOS E MICROGABROS DE TODOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS; (B) <i>SILL</i> DE RESERVA; (C) <i>SILL</i> DE PRUDENTOPOLIS; (D) <i>SILL</i> DE IRATI; (E) <i>SILL</i> DE REBOUÇAS E (F) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	55
FIGURA 26 –	DIAGRAMA DE VARIAÇÃO SiO <sub>2</sub> VS. MgO PARA BORDA E NÚCLEO DOS FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E CRISTAIS DA MATRIZ PARA OS CLINOPIROXÊNIOS ANALISADOS .....	56
FIGURA 27 –	DIAGRAMA DE VARIAÇÃO MgO VS. CaO PARA BORDA E NÚCLEO DOS FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E CRISTAIS DA MATRIZ PARA AUGITA (A) E PIGEONITA (B) DOS BASALTOS E MICROGABROS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS.....	57

FIGURA 28 –	FOTOMICROGRAFAIA EM LUZ POLARIZADA DE OLIVINA DESCRITA EM AMOSTRA DE MICROGABRO DO <i>SILL</i> DE RESERVA .....	58
FIGURA 29 –	FOTOMICROGRAFIAS DE MINERAIS OPACOS DESCRITOS EM BASALTOS E MICROGABROS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. (A) CRISTAIS RIPIFORMES DE ILMENITA EM AMOSTRA DE BASALTO (LUZ POLARIZADA) E (B) FENOCRISTAL EUÉDRICO DE MAGNETITA EM AMOSTRA DE MICROGABRO (LUZ PLANA POLARIZADA) .....	59
FIGURA 30 –	FOTOMICROGRAFIA EM LUZ PLANA POLARIZADA DE ANFIBÓLIO EM AMOSTRA DE MICROGABRO .....	60
FIGURA 31 –	VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DOS ANFIBÓLIOS DE BASALTOS E MICROGABROS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO DE LEAKE (1978). (A) <i>SILLS</i> DE RESERVA, PRUDENTÓPOLIS, IRATI E REBOUÇAS E (B) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA. TODAS AS ANÁLISES CORRESPONDEM A CRISTAIS DA MATRIZ .....	60
FIGURA 32 –	DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO COM ELEMENTOS TERRAS RARAS .....	62
FIGURA 33 –	DIAGRAMA MULTIELEMENTAR DE WOOD <i>ET AL.</i> (1979) PARA O MODELO PETROGENÉTICO OBTIDO PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA .....	66
FIGURA 34 –	DIAGRAMA MULTIELEMENTAR DE WOOD <i>ET AL.</i> (1979) PARA O MODELO PETROGENÉTICO OBTIDO PARA O <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS .....	67
FIGURA 35 –	DIAGRAMA MULTIELEMENTAR DE WOOD <i>ET AL.</i> (1979) PARA O MODELO PETROGENÉTICO OBTIDO PARA O <i>SILL</i> DE IRATI .....	68
FIGURA 36 –	DIAGRAMA MULTIELEMENTAR DE WOOD <i>ET AL.</i> (1979) PARA O MODELO PETROGENÉTICO OBTIDO PARA O <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	70
FIGURA 37 –	(A) MODELO UTILIZADO PARA CALCULAR A PRESSÃO PARA TESTE E ANÁLISE DE REGRESSÃO E (B) MÉDIA DOS VALORES DE P UTILIZADA PARA CALCULAR DADOS EXPERIMENTAIS (PUTIRKA, 2005) .....	74
FIGURA 38 –	<i>mg#</i> (NÚMERO DE MAGNÉSIO) DA ROCHA VS. <i>mg#</i> CLINOPIROXÊNIO. O CAMPO DE EQUILÍBRIO PARA TROCA DE FE/MG ENTRE O CLINOPIROXÊNIO E O LÍQUIDO BASÁLTICO É LIMITADO PELAS LINHAS TRACEJADAS.....	75
FIGURA 39 –	HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DOS CLINOPIROXÊNIO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	76
FIGURA 40 –	HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO DOS CLINOPIROXÊNIO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	79
FIGURA 41 –	DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO TEMPERATURA VS. PRESSÃO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. ESTIMATIVAS OBTIDAS A PARTIR DOS CLINOPIROXÊNIO EM NÚCLEO E BORDA DE FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E CRISTAIS DA MATRIZ. (A) COMPARAÇÃO ENTRE TODOS OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS; (B) <i>SILL</i> DE RESERVA; (C) <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS; (D) <i>SILL</i> DE IRATI; (E) <i>SILL</i> DE REBOUÇAS E (F) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	83
FIGURA 42 –	ISOTERMAS DE LINDSLEY E ANDERSON (1983) COM PROJEÇÃO DOS PIROXÊNIO DE BASALTOS E MICROGABROS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. (A) TODOS OS <i>SILLS</i> ; (B) <i>SILL</i> DE RESERVA; (C) <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS; (D) <i>SILL</i> DE IRATI; (E) <i>SILL</i> DE REBOUÇAS E (F) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	84
FIGURA 43 –	HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS	85
FIGURA 44 –	HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA PARA TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS	88
FIGURA 45 –	DIAGRAMA DE VARIAÇÃO TEMPERATURA VS. PORCENTAGEM DO COMPONENTE AN (ANORTITA), PARA NÚCLEO E BORDA DE FENOCRISTAIS/MICROFENCORISTAIS E CRISTAIS DA MATRIZ .....	92

FIGURA 46 –	DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO TEMPERATURA VS. PRESSÃO PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS. ESTIMATIVAS OBTIDAS A PARTIR DE PLAGIOCLÁSIOS EM NÚCLEO E BORDA DE FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS E CRISTAIS DA MATRIZ. (A) COMPARAÇÃO ENTRE TODOS OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS; (B) <i>SILL</i> DE RESERVA; (C) <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS; (D) <i>SILL</i> DE IRATI; (E) <i>SILL</i> DE REBOUÇAS E (F) <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	93
FIGURA 47 –	DIAGRAMA DE VARIAÇÃO TEMPERATURA VS PRESSÃO OBTIDAS A PARTIR DE PLAGIOCLÁSIOS E CLINOPIROXÊNIOS PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	94
FIGURA 48 –	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO REPRESENTANDO A CRISTALIZAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS E CLINOPIROXÊNIOS PARA OS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	95
FIGURA 49 –	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRADOS EMPREGADOS NA DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA E DEMAIS VARIÁVEIS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS .....	98
FIGURA 50 –	MAPA DE ISOTERMAS CONSTRUÍDO PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA .....	99
FIGURA 51 –	SÓLIDO MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO TÉRMICA PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA (SOBREELEVAÇÃO 15X) .....	100
FIGURA 52 –	SEÇÃO MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO TÉRMICA NO PONTO AR-35 (CACHOEIRA, FOTOGRAFIA AO LADO) PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA ....	100
FIGURA 53 –	MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DO ÍNDICE DE DIFERENCIAÇÃO PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA .....	103
FIGURA 54 –	MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO Ca/(Ca+Na) PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA .....	104
FIGURA 55 –	MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE MAGNÉSIO PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA .....	105

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS DIFERENTES MAGMAS-TIPO DEFINIDOS POR PEATE <i>ET AL.</i> (1990) E PEATE (1997) ...	14
TABELA 2 –	COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS OBTIDA A PARTIR DE ENSAIOS EM MICROSSONDA ELETRÔNICA .....	25
TABELA 3 –	COMPOSIÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS DOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS ESTIMADA POR MEIO DO CÁLCULO DA NORMA CIPW .....	26
TABELA 4 –	COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS PLAGIOCLÁSIOS DO <i>SILL</i> DE RESERVA ESTIMADA PELA NORMA CIPW .....	29
TABELA 5 –	COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS PLAGIOCLÁSIOS DO <i>SILL</i> DE RESERVA ESTIMADA A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DA ROCHA PELO CÁLCULO DA NORMA CIPW COM O AUXÍLIO DE DIAGRAMAS BINÁRIOS .....	30
TABELA 6 –	VARIAÇÃO COMPOSICIONAL DOS PLAGIOCLÁSIOS NOS <i>SILLS</i> ESTUDADOS .....	49
TABELA 7 –	COMPOSIÇÃO DAS ROCHAS UTILIZADAS NO CÁLCULO DOS MODELOS PETROGENÉTICOS .....	64
TABELA 8 –	RESULTADOS OBTIDOS NOS CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSA PARA AS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DAS ROCHAS DO <i>SILL</i> DE RESERVA .....	66
TABELA 9 –	RESULTADOS OBTIDOS NOS CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSA PARA AS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DAS ROCHAS DO <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS .....	67
TABELA 10 –	RESULTADOS OBTIDOS NOS CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSA PARA AS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DAS ROCHAS DO <i>SILL</i> DE IRATI ....	69
TABELA 11 –	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ROCHAS ESTUDADAS DO <i>SILL</i> DE REBOUÇAS .....	69

TABELA 12 –	RESULTADOS OBTIDOS NOS CÁLCULOS DE BALANÇO DE MASSA PARA AS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DAS ROCHAS DO <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	71
TABELA 13 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA E PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DOS CLINOPIROXÊNIOS OBTIDAS A PARTIR DO GEOTERMOBARÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA <i>ET AL.</i> (2003) .....	78
TABELA 14 –	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA OBTIDAS EM FENOCRISTAIS E MICROFENOCRISTAIS DE CLINOPIROXÊNIOS, A PARTIR DO GEOTERMÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA <i>ET AL.</i> (2003) .....	80
TABELA 15 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO OBTIDAS EM NÚCLEO E BORDA DE FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS DE CLINOPIROXÊNIOS, A PARTIR DO GEOTERMOBARÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA <i>ET AL.</i> (2003) .....	81
TABELA 16 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO OBTIDAS EM CRISTAIS DE CLINOPIROXÊNIOS CONSTITUINTES DA MATRIZ DA ROCHA, A PARTIR DO GEOTERMOBARÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA <i>ET AL.</i> (2003) .....	82
TABELA 17 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA E PRESSÃO DE CRISTALIZAÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS OBTIDAS A PARTIR DO GEOTERMOBARÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA (2005) .....	86
TABELA 18 –	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA OBTIDAS EM FENOCRISTAIS E MICROFENOCRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIOS, A PARTIR DO GEOTERMÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA (2005) .....	89
TABELA 19 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO OBTIDAS NO NÚCLEO E BORDA DE FENOCRISTAIS/MICROFENOCRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIOS, A PARTIR DO GEOTERMÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA (2005) .....	90
TABELA 20 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO OBTIDAS EM CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIO CONSTITUINTES DA MATRIZ DA ROCHA, A PARTIR DO GEOTERMÔMETRO CALIBRADO POR PUTIRKA (2005) .....	91
TABELA 21 –	ESTIMATIVAS DE TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO DE PLAGIOCLÁSIOS PARA O <i>SILL</i> DE RESERVA A PARTIR DOS GEOTERMÔMETROS CALIBRADOS POR PUTIKA (2005) .....	97
TABELA 22 –	VARIÁVEIS GOEQUÍMICAS UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO DOS MODELOS BIDIMENSIONAIS .....	102

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 1 –	DISJUNÇÕES COLUNARES DESCRITAS NO PONTO AR-35, REGIÃO NORDESTE DO <i>SILL</i> DE RESERVA .....	32
FOTOGRAFIA 2 –	AFLOREAMENTO DE MICROGABRO AO LONGO DA ESTRADA DE FERRO APUCARANA-PARANAGUÁ .....	35
FOTOGRAFIA 3 –	<i>SILL</i> EM CONTATO COM A FORMAÇÃO IRATI DESCRITO NA ESTRADA DE FERRO APUCARANA – PARANAGUÁ .....	36
FOTOGRAFIA 4 –	PEDREIRA EM ATIVIDADE DESCRITA NA PORÇÃO NOROESTE DA ÁREA DO <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS (PONTO E-23) .....	37
FOTOGRAFIA 5 –	VARIAÇÃO TEXTURAL OBSERVADA NO <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS EM PEDREIRA (PONTO E-25) .....	38
FOTOGRAFIA 6 –	AFLOREAMENTO DE SILTITO DESCRITO NO PONTO E-24, LOCALIZADO NA PORÇÃO NOROESTE DO <i>SILL</i> DE PRUDENTÓPOLIS .....	39
FOTOGRAFIA 7 –	AFLOREAMENTO DE FOLHELHOS DESCRITOS NA PEDREIRA BOSCARDIM .....	42

FOTOGRAFIA 8	–	AFLORAMENTO DO <i>SILL</i> DE REBOUÇAS EM PEDREIRA DESATIVADA (PARQUE DA PEDREIRA), LOCALIZADO A SUDOESTE DO MUNICÍPIO DE REBOUÇAS .....	42
FOTOGRAFIA 9	–	AFLORAMENTO DE MICROGABRO EM PEDREIRA DESATIVADA, <i>SILL</i> DE PONTA GROSSA .....	44
FOTOGRAFIA 10	–	VISTA GERAL DA PEDREIRA MORO (EM ATIVIDADE) .....	45
FOTOGRAFIA 11	–	AFLORAMENTO DO <i>SILL</i> EM CONTATO COM A FORMAÇÃO PONTA GROSSA, SITUADO DENTRO DA PEDREIRA MORO (EM ATIVIDADE) ...	45

## RESUMO

*Sills* de composição básica a intermediária ocorrem encaixados na faixa de rochas paleozóicas da Bacia do Paraná no Estado do Paraná, concentrados na região centro-leste, entre os lineamentos Piquiri e São Jerônimo – Curiúva. Foram selecionados corpos intrusivos que ocorrem alojados nas formações Irati e Ponta Grossa, com o objetivo de definir a temperatura de intrusão destes corpos e contribuir para o entendimento da geração e maturação da matéria orgânica. Foram estudados seis corpos intrusivos denominados de acordo com sua localização geográfica. Os *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças afloram próximos aos municípios homônimos e ocorrem encaixados preferencialmente na Formação Irati. No município de Ponta Grossa ocorrem dois pequenos corpos intrusivos alojados na formação homônima. As rochas dos *sills* são basaltos, microgabros e gabros, cinza escuros, maciços, compostos por piroxênio de composição augítica a pigeonítica e plagioclásios que variam de labradorita (predominante) a oligoclásio. Subordinadamente, ocorrem minerais opacos definidos como Ti-magnetita, ilmenita e sulfetos. Anfibólios são raros, com composição entre Fe-edenita e edenita. As condições de temperatura e pressão de cristalização dos *sills* foram calculadas utilizando a composição de rocha total e as composições minerais de plagioclásios e clinopiroxênios. O termobarômetro aplicado para clinopiroxênios é baseado na cristalização da jadeíta e na reação de troca Jadeíta – Diopsídio – Hedembergita. O termobarômetro calibrado para plagioclásios é baseado nas composições plagioclásio – líquido, fundamentados na partição de Ca entre o líquido e o plagioclásio. As pressões registradas nos clinopiroxênios variam entre 0 a 6,50 kbar e refletem cristalização em diferentes níveis crustais, com profundidades de até 18 km. As pressões registradas em plagioclásios variam de 0 a 10,1 kbar e indicam profundidade de cristalização de até 33 km. As temperaturas registradas em clinopiroxênios e plagioclásios variam de 932,85° a 1301,85°C e 992,85° a 1266,85°C, respectivamente. As condições de cristalização de temperatura e pressão obtidas em plagioclásios e clinopiroxênios sugerem cristalização prévia dos plagioclásios em níveis crustais profundos. Modelos de distribuição térmica construídos para o *sill* de Reserva sugerem a existência de regiões quentes concentradas no centro do corpo intrusivo. O modelo de distribuição do índice de diferenciação releva a presença de uma faixa menos diferenciada na faixa leste do corpo, sugerindo que a evolução magmática se processou de leste para oeste.

## ABSTRACT

Basic and intermediate rocks occur as sills intruded in Paleozoic rocks of the Paraná Basin (Paraná State, Southwest Brazil) concentrated in the center-east region, between the Piquiri and São Jerônimo – Curiúva lineaments. Intrusive bodies hosted by the Irati and Ponta Grossa formations were selected, with the aims of defining their intrusion temperatures and evaluating their influence on the maturation and generation of organic matter. Six intrusive bodies named in accordance to their geographic location have been studied in this work. Sills of Reserva, Prudentópolis, Irati and Rebouças are located close to homonymous the towns and intruded mainly the Irati Formation. In Ponta Grossa county two small intrusive bodies are hosted by the homonymous formation. The sills are defined as basalts, microgabbros and gabbros, they are dark grey in color and massive, being composed by augite and pigeonite pyroxene, as well as labradorite (dominant) and oligoclase. Subordinately there are opaque minerals represented by Ti-magnetite, ilmenite and sulphites. Fe-edenite and edenite amphiboles are rare. The crystallization temperature and pressure conditions of the investigated sills have been calculated using the whole rock and mineral compositions of plagioclases and clinopyroxenes. The geothermobarometer applied to clinopyroxenes is based on jadeite crystallization and jadeite-diopside + hedenbergite exchange equilibrium reaction. The geothermobarometer calibrated for plagioclases is based on the partitioning of Ca between liquid and plagioclase. The pressures obtained for clinopyroxenes range from 0 to 6.5 kbar and they reflect crystallization in different crustal levels within depths greater than 18 km. The pressures obtained for plagioclases range from 0 to 10.1 kbar and they indicate crystallization at depths greater than 33 km. The temperatures obtained in clinopyroxenes and plagioclases range from 932,85° to 1301,85°C and 992,85° to 1266,85°C, respectively. The crystallization temperature and pressure conditions obtained for plagioclases and clinopyroxenes suggest previous crystallization of the plagioclases in deeper crustal levels. Thermal distribution models for the Reserva Sill suggest the existence of hotter regions located in the intrusive body center. A differentiation index distribution model indicates the presence of a less differentiated portion in the eastern portion of the intrusive body, suggesting that the magmatic evolution occurred from east to west.



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A Bacia do Paraná é uma grande bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental. Foi preenchida por rochas sedimentares associadas a vulcanismo e intrusões básicas, que podem alcançar até 7.000 m de espessura (Milani e Thomaz Filho, 2000). Apresenta em seu contexto litoestratigráfico a maior manifestação de vulcanismo fissural ocorrida em região continental, que resultou no empilhamento de até 2.000 m de lavas sobre seus sedimentos (Milani e Thomaz Filho, 2000), além de intrudir-se por entre os mesmos, sob a forma de diques e *sills*.

As rochas vulcânicas, especialmente aquelas pertencentes aos derrames, foram extensivamente estudadas. Estudos petrográficos e geoquímicos importantes foram desenvolvidos por Bellieni *et al.* (1984), Fodor *et al.* (1985), Piccirillo *et al.* (1987), Bellieni *et al.* (1988), Mantovani *et al.* (1988), Piccirillo *et al.* (1988), Peate *et al.* (1990), Nardy *et al.* (1993) e Peate (1997) revelando importantes variações regionais pertencentes à distribuição e geoquímica dos diferentes litotipos vulcânicos. Pouco se sabe sobre a geologia das rochas intrusivas.

As intrusões magmáticas são relevantes na estruturação e acumulação de hidrocarbonetos, uma vez que influenciam a distribuição de estruturas pré-existentes, a geração de novos reservatórios e, ainda, favorecem a acumulação e maturação da matéria orgânica. Estudos desenvolvidos por Baudino *et al.* (2004) revelaram que as intrusões magmáticas têm efeito no regime de temperatura, fluxo de calor e fluxo dos fluidos. De acordo com os autores, as simulações numéricas realizadas indicaram que ao afetar uma rocha geradora, as rochas intrusivas levam à geração de uma ampla escala composicional de hidrocarbonetos em volumes não negligenciáveis e que este fenômeno tem uma curta duração na escala de tempo geológico, cujos efeitos variam grandemente em uma pequena distância. As medidas de maturidade, realizadas em amostras de poços e de superfície, mostram altos níveis de maturação nas rochas geradoras em contato com os corpos intrusivos.

As intrusões de *sills* em rochas sedimentares da Bacia do Paraná têm grande influência térmica na geração ou degradação de hidrocarbonetos e, principalmente, na migração, conforme observações de Quadros (1976), Quadros *et al.* (1980), Araújo *et al.* (2000), Santos *et al.* (2003) e Souza *et al.* (2003). Segundo Araújo *et al.* (2000), os sistemas petrolíferos, que têm a influência da intrusão de *sills*, são termalmente maturados e são considerados sistemas “atípicos”, caracterizados pelo sincronismo entre os processos de geração e migração. Apesar desta influência reconhecida, pouco se sabe ainda da estrutura térmica da bacia. O interesse sobre a geologia dos corpos intrusivos, mais especificamente os *sills*, tem sido voltado para estratigrafia, estrutura, mecanismos e controles de intrusões (Soares, 1981). A caracterização termal destas rochas tem sido pouco investigada.

O evento magmático gerador das rochas basálticas na Bacia do Paraná deve ter contribuído para a destruição de prováveis acumulações, redução da porosidade de rochas reservatórios nas proximidades das intrusões e a alteração termal da matéria orgânica. Estudos de favorabilidade para petróleo, realizados por Artur (1998) e Artur *et al.* (1999), revelam que as anomalias de espessura acumulada de *sills* na coluna sedimentar exercem um papel preponderante na distribuição das acumulações de petróleo no sistema Irati/Rio Bonito.

Muitos trabalhos também consideram a importância do episódio de rifteamento continental, com conseqüente ascensão das isotermas, revelando o efeito fortíssimo, local e regional do magmatismo Serra Geral na evolução termal da matéria orgânica (Goulart e Jardim, 1982). O trabalho de Jin *et al.* (1999), em bacias *rift* do oeste da China, mostra que a atividade vulcânica acelera a produção de hidrocarbonetos. Deste modo, na Bacia do Paraná, a ocorrência de vários eventos térmicos com idades diversas e temperaturas variadas pode ter a mesma relação.

Dentro deste contexto, foi desenvolvido este trabalho com o intuito de definir a temperatura de intrusão dos corpos ígneos e avaliar sua evolução térmica, buscando relações que caracterizem a atuação desses corpos na formação dos sistemas petrolíferos Ponta Grossa – Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo localiza-se no Segundo Planalto Paranaense, compreendendo os *sills* encaixados na faixa de rochas paleozóicas da Bacia do Paraná. Foram selecionadas duas áreas-alvo para o desenvolvimento da pesquisa: a primeira abrange os *sills* encaixados na Formação Irati e a segunda, os *sills* encaixados na Formação Ponta Grossa. Estas áreas foram eleitas por representarem horizontes preferenciais de ocorrência dos corpos intrusivos e, além disso, as formações Irati e Ponta Grossa são unidades de maior potencial gerador petrolífero da Bacia, sendo propícias para o estudo do efeito térmico.

A área I compreende os *sills* encaixados na Formação Irati, onde são estudados os *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças, localizados próximos às cidades homônimas e delimitados pelas coordenadas geográficas 51°15'W e 50°30'W e 24°25'S e 25°45'S (Figura 1). O *sill* de Reserva aflora na porção central do Estado, cujo acesso a partir de Curitiba, pode ser feito pela BR-277 até a BR-376 e a partir desta percorrendo aproximadamente 80 km até o trevo para a cidade de Reserva. O *sill* de Prudentópolis aflora a leste do município de Prudentópolis e o acesso, a partir de Curitiba, pode ser feito pela BR-277 e BR-376 e pela a BR-373 após Ponta Grossa. A rodovia BR-373 corta a cidade de Prudentópolis e a área do *sill* aproximadamente na direção E-W. O acesso para os *sills* de Irati e Rebouças pode ser feito por meio da BR 277 até a PR 153, que corta os respectivos municípios aproximadamente N-S. Toda a área apresenta-se interligada por uma série de estradas vicinais, por meio das quais há acesso aos principais afloramentos visitados.

A área II compreende dois *sills* encaixados na Formação Ponta Grossa, localizados próximos ao município homônimo. O primeiro situa-se dentro do município de Ponta Grossa, no bairro Vila Cipa, sendo delimitado pelas coordenadas 7.222.335 e 7.220.200 m N e 586.860 e 588.420 m E. O segundo corpo estudado não é mapeável na escala do mapa. Entretanto, o afloramento descrito é localizado pelas coordenadas 7.231.930 m N e 570.860 m E (Figura 2). O acesso à área, a partir de Curitiba, pode ser feito pela BR 277 até a cidade de Ponta Grossa.

As principais vias de acesso são apresentadas na figura 3.

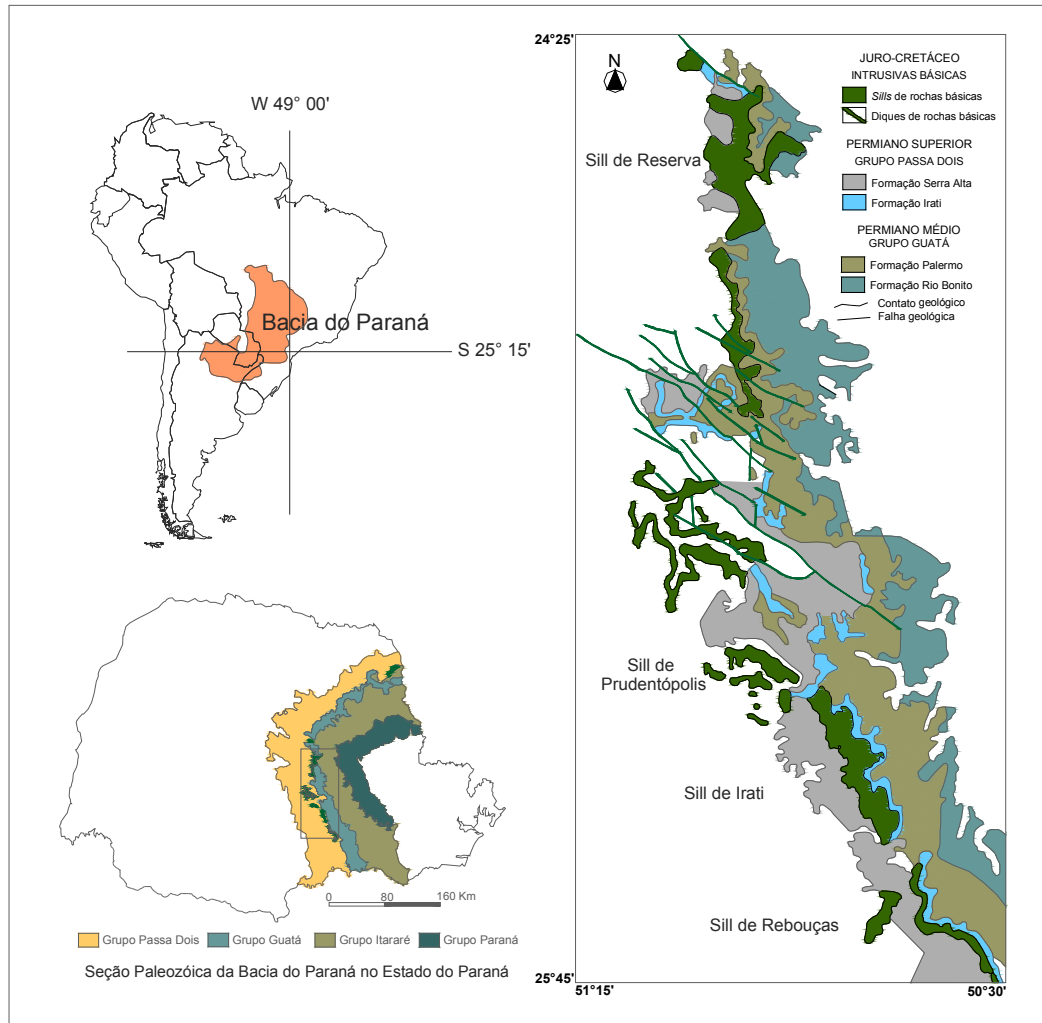


Figura 1 – Mapa geológico esquemático da área I, com localização dos *sills* encaixados na Formação Irati (Fonte: MINEROPAR, 2001)

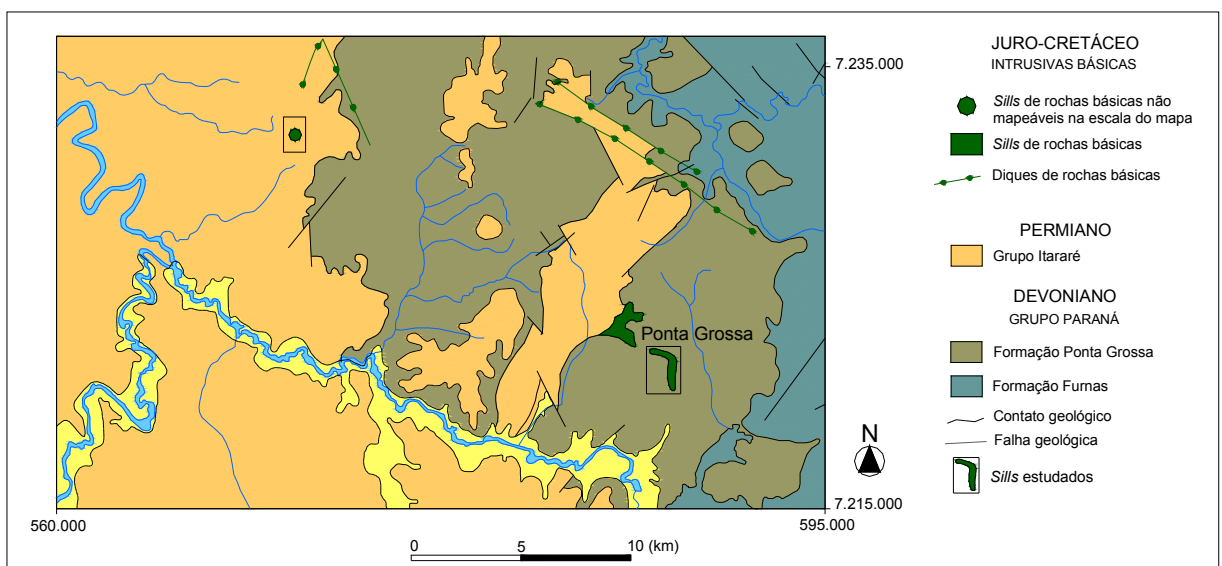


Figura 2 – Mapa geológico esquemático da área II, com localização dos *sills* encaixados na Formação Ponta Grossa (Fonte: MINEROPAR, 2005)

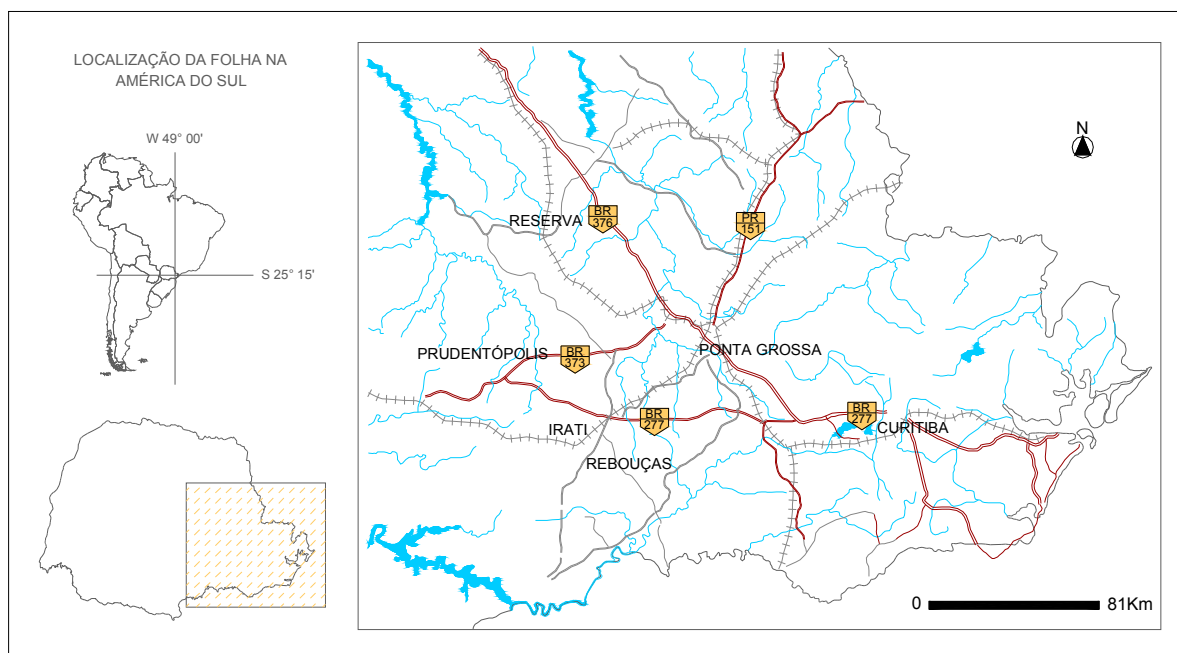


Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo com as principais vias de acesso

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é definir a história térmica e química evolutiva de *sills* encaixados nas formações Ponta Grossa e Irati e avaliar sua influência sobre os sistemas petrolíferos Ponta Grossa-Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia.

O trabalho concentrou-se em *sills* intrudidos nas formações Ponta Grossa e Irati. Por meio da geoquímica e da química mineral pretende-se definir a temperatura de intrusão desses corpos e avaliar sua contribuição na degradação e/ou maturação da matéria orgânica formadora do querogênio. Com base na definição da temperatura de cristalização dos magmas, halos de resfriamento e taxas de cristalização, visa-se delimitar a relação existente entre a temperatura de intrusão e resfriamento das rochas ígneas sobre as rochas geradoras dos sistemas petrolíferos Ponta Grossa – Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Paraná é uma grande bacia intracratônica, desenvolvida completamente sobre crosta continental gerada ou rejuvenescida durante o Proterozóico Superior – Eopaleozóico, em resposta a episódios tectonomagmáticos produzidos pelo ciclo Brasileiro. O registro tectono-estratigráfico da bacia sugere a interação de fenômenos orogênicos nas bordas da placa Sul-Americana, com eventos epirogênicos marcados por épocas de subsidência, soerguimento e magmatismo no interior da placa (Milani e Ramos, 1998). As rochas da bacia são principalmente terrígenas, constituindo unidades depositadas durante o Siluriano ao Cretáceo. Abrange uma área de 1.400.000 km<sup>2</sup> dos quais aproximadamente 1.100.000 km<sup>2</sup> se encontram em território brasileiro, estendendo-se ainda pelo Paraguai, Uruguai e Argentina (Zalán *et al.* 1990) (Figura 4).

### 2.1 ESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ

A estratigrafia mais utilizada atualmente para a Bacia do Paraná é a proposta na revisão de Milani *et al.* (1994) (Figura 5) com base no clássico trabalho de Schneider *et al.* (1974). Trabalhos recentes (Milani e Ramos, 1998; Milani e Tomaz Filho, 2000; Milani, 2004) são complementares e associam o preenchimento sedimentar e a evolução da bacia às orogenias atuantes na borda oeste da Plataforma Sul-Americana, dividindo seu registro stratigráfico em seis superseqüências, denominadas: Rio Ivaí (Caradociana - Llandoveryana), Paraná (Lochkoviana - Frasniana), Gondwana I (Westphaliano - Scythiano), Gondwana II (Anasiano - Noriano), Gondwana III (Jurássico - Beniasiano) e Bauru (Aptiano - Maastrichtiano).

A superseqüência Rio Ivaí é a seqüência mais antiga da bacia, representando o primeiro ciclo de sedimentação acumulado sobre o embasamento cratônico consolidado após a Orogenia Brasileira. Seu registro sedimentar inicia-se com os arenitos basais da Formação Alto Garças, seguido por algumas dezenas de metros de camadas de diamictitos da Formação Iapó, que registra a glaciação ordovício-siluriana do Gondwana. A unidade superior da superseqüência, a

Formação Vila Maria, compreende folhelhos fossilíferos e siltitos. O topo da seqüência é definido por uma superfície de discordância que erodiu profundamente o pacote ordovício-siluriano e estabeleceu um peneplano.



Figura 4 – Mapa de localização da Bacia do Paraná na América do Sul (Zalán *et al.*, 1990)

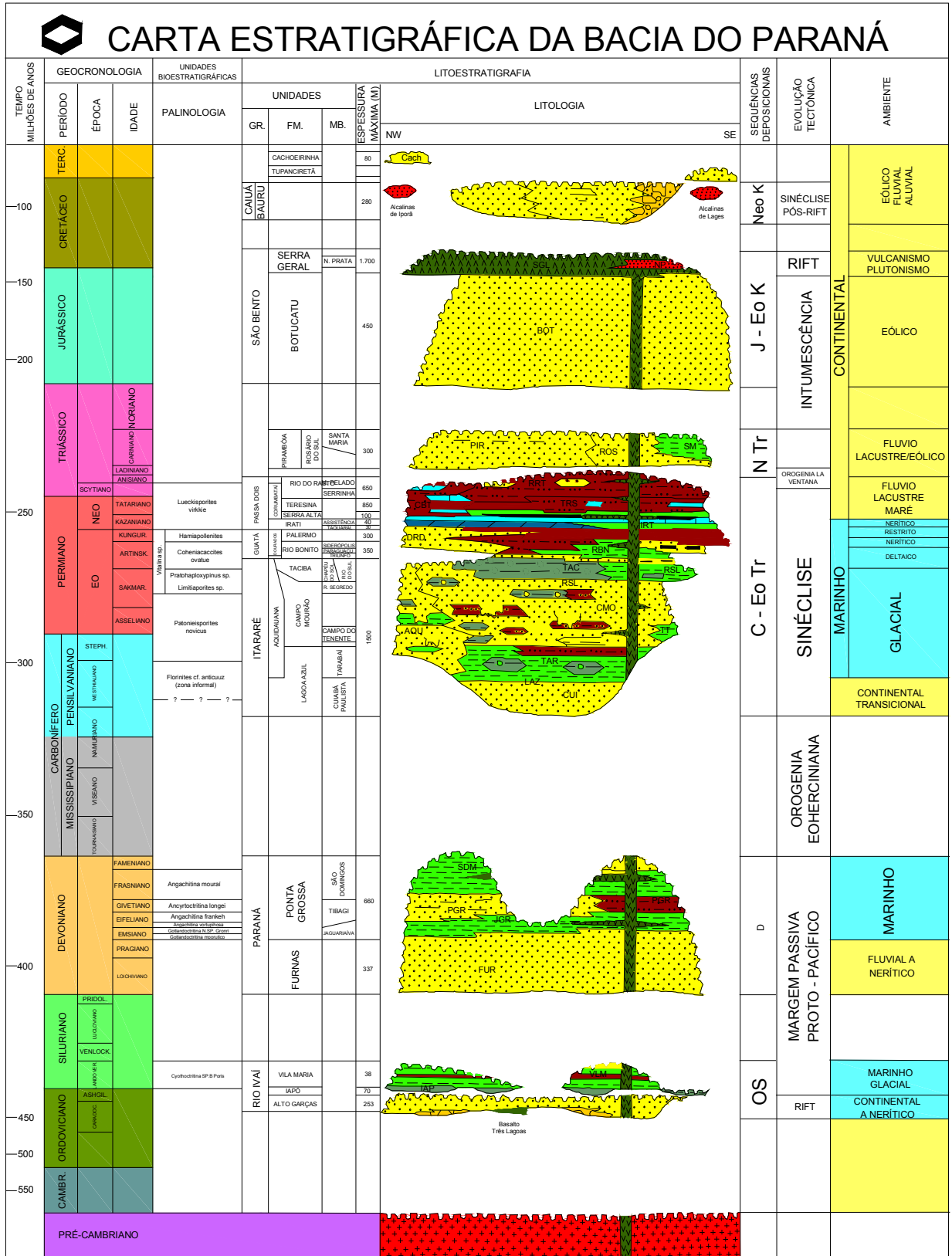


Figura 5 – Carta estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani *et al.* 1994)



A Superseqüência Paraná assenta sobre essa discordância, apoiada em unidades sedimentares precedentes ou diretamente no embasamento. Compreende um ciclo transgressivo – regressivo completo de oscilação do nível do Panthalassa, iniciando com sedimentos arenosos continentais a transicionais eodevonianos representados pela Formação Furnas, passando gradualmente para sedimentos marinhos da Formação Ponta Grossa, composta por folhelhos, folhelhos silticos, siltitos e arenitos. O limite Devoniano – Carbonífero é caracterizado por uma lacuna deposicional de 55 M.a, favorecida pela movimentação de geleiras relacionadas à glaciação gonduânica, que forneceram mecanismos de erosão e constituíram-se em obstáculos ao transporte e acumulação sedimentar.

A Superseqüência Gondwana I corresponde ao pacote de rochas sedimentares mais espesso da bacia, com espessuras que alcançam 2.500 m. Sua porção inferior é representada por depósitos glaciogênicos incluindo o Grupo Itararé e a Formação Aquidauana. De acordo com França e Potter (1988) o Grupo Itararé é composto por diamictitos, unidades de arenitos turbidíticos, conglomerados e, subordinadamente, varvitos e tilitos. Os depósitos glaciogênicos foram seguidos por uma seqüência transgressiva denominada Grupo Guatá, que inclui arenitos deltáicos e camadas de carvão da Formação Rio Bonito e siltitos e argilitos da Formação Palermo. Acima, uma seção regressiva foi acomodada por um ciclo de subsidência correspondendo ao Grupo Passa Dois. De acordo com Schneider *et al.* (1974) o Grupo Passa Dois é composto pelas formações Irati, Serra Alta (folhelhos, argilitos e siltitos), Teresina (argilitos e siltitos cinza-claros) e Rio do Rasto (arenitos, siltitos e folhelhos). A Formação Irati compõe-se de folhelhos, folhelhos betuminosos, arenitos, margas, carbonatos e anidrita. Segundo Milani *et al.* (1994) a Formação Irati foi depositada em condições de um mar restrito, progressivamente mais salino da base para o topo. A Superseqüência Gondwana I finaliza com a progressiva continentalização dos sistemas deposicionais registrada na Formação Rio do Rasto.

A Superseqüência Gondwana II é representada pelas formações Pirambóia e Rosário do Sul, constituídas por arenitos finos e regularmente a bem selecionados.

A Superseqüência Gondwana III corresponde ao Grupo São Bento composto pelas formações Botucatu e Serra Geral. A Formação Botucatu compõe-se de arenitos finos a médios, quartzosos, em geral bem selecionados, resultantes da formação de dunas eólicas. Recobrando os arenitos da Formação Botucatu, seguiu-

se a maior manifestação de vulcanismo fissural ocorrida em região continental. Para Fodor *et al.* (1985) e também para Milani *et al.* (1994), essa manifestação é a resposta magmática dos estágios precoces da ruptura do Gondwana e da abertura do Atlântico Sul, que resultou no empilhamento de até 2.000 m de basaltos sobre os sedimentos da Bacia do Paraná, além de intrudir-se por entre os mesmos, sob a forma de diques e sills.

Para Milani e Ramos (1998) e Milani e Thomaz Filho (2000) a Superseqüência Bauru, depositada no Cretáceo Superior, composta por rochas sedimentares de sistemas eólicos, fluviais e aluviais, finaliza a história deposicional da Bacia do Paraná. Porém Fernandes e Coimbra (1996) excluíram-na, por considerá-la acumulada em uma nova bacia, desenvolvida após a ruptura do continente gonduânico, denominada Bacia Bauru. De acordo com os mesmos autores, a Bacia Bauru se originou a partir de uma subsidência termo-mecânica, depois de cessados os derrames vulcânicos no Cretáceo Inferior. Constitui uma seqüência única formada por rochas siliciclásticas de origem continental, composta pelos grupos Caiuá e Bauru. O primeiro compreende arenitos acumulados em ambiente eólico, enquanto o segundo agrupa unidades depositadas em ambientes fluviais e de leques aluviais (Fernandes e Coimbra, 1996). Na figura 6 é apresentado o mapa geológico da Bacia do Paraná, proposto por Milani (2004), contendo as diversas unidades do registro estratigráfico.

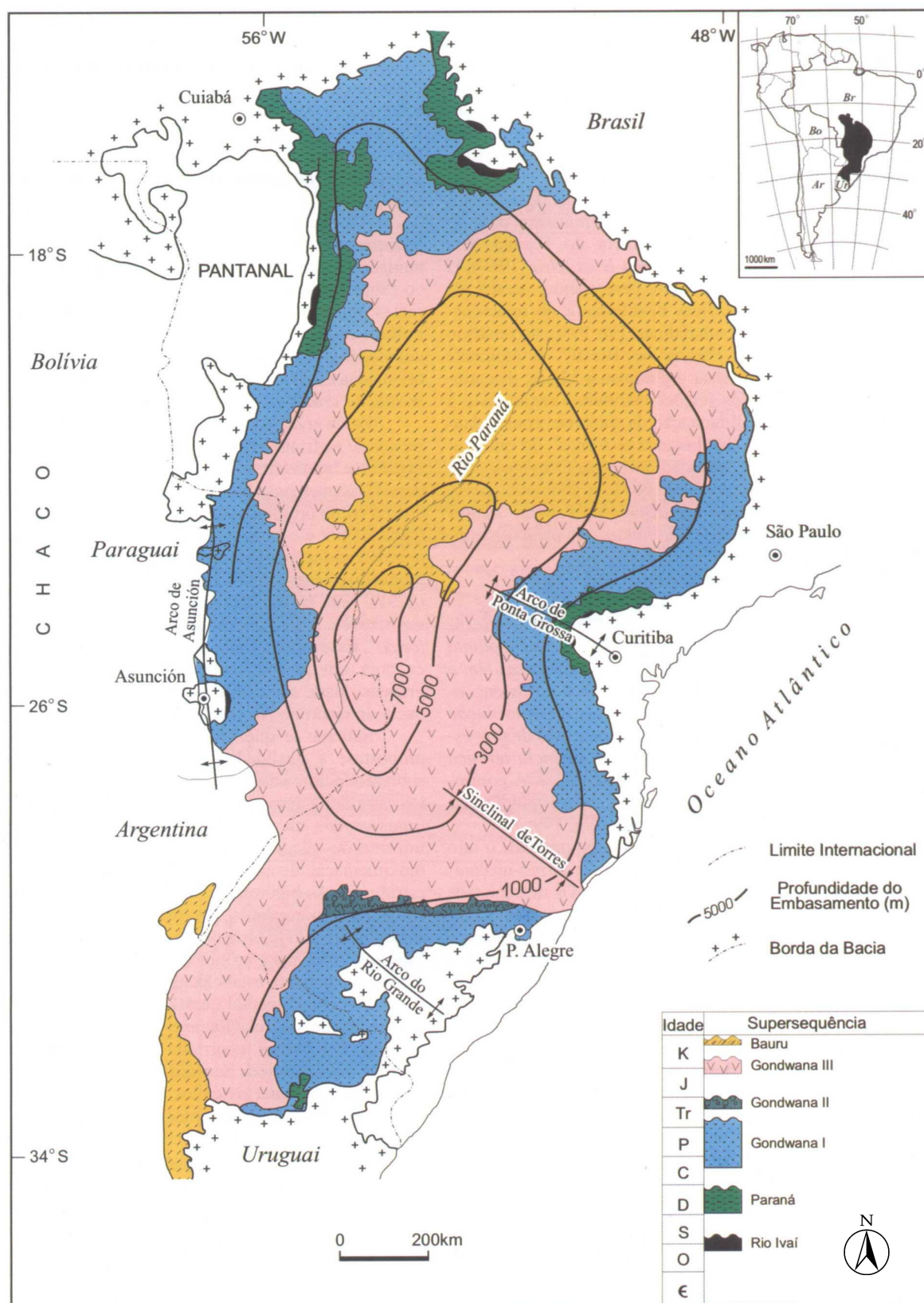


Figura 6 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (Milani, 2004)

## 2.2 ROCHAS VULCÂNICAS DA BACIA DO PARANÁ

O magmatismo da Bacia do Paraná é constituído predominantemente por basaltos e basalto-andesitos de filiação toleítica, contrastantes com riolitos e riodacitos, caracterizando uma associação litológica bimodal (basalto – riolito).

Extensivos estudos petrográficos e geoquímicos nas rochas vulcânicas da Bacia do Paraná foram realizados por Bellieni *et al.* (1984a, 1986), Piccirillo *et al.* (1987), Piccirillo *et al.* (1988), Mantovani (1985), Mantovani *et al.* (1985, 1988), Peate *et al.* (1990), Nardy *et al.* (1993) e Peate (1997). Os principais litotipos vulcânicos básico-intermediários definidos por Bellieni *et al.* (1984a) correspondem quimicamente a basaltos toleíticos, basalto-andesitos, andesitos e, subordinadamente, a basaltos transicionais, lati-basaltos e lati-andesitos; já os litotipos ácidos correspondem a riolitos e riodacitos.

As análises químicas obtidas por Piccirillo e Melfi (1988) os levaram a distinguir duas suítes toleíticas principais em função do teor de  $\text{TiO}_2$ : (A) suíte de baixo  $\text{TiO}_2$  (< 2% em porcentagem peso), caracterizada também pelo empobrecimento em P, Sr, Ba, La, Ce, Zr e Y em relação a suíte B; (B) suíte de alto  $\text{TiO}_2$  (> 2% em porcentagem peso), caracterizada pelo enriquecimento em elementos incompatíveis (Rb, Th e U) e maior razão álcalis/sílica. As rochas ácidas também foram separadas em duas suítes: (A) vulcânicas ácidas Chapecó, caracterizadas pelo alto conteúdo de Ti, P, Ba, La, Ce e Zr, e (B) vulcânicas ácidas Palmas, apresentando baixo conteúdo de Ti, P, Ba, La, Ce e Zr.

Piccirillo *et al.* (1987, 1988) dividiram a Província Basáltica do Paraná em três áreas principais: (1) Subprovíncia Sul, (2) Subprovíncia Central e (3) Subprovíncia Norte, limitadas por lineamentos tectônicos ou magnéticos (Figura 7).

A Subprovíncia Sul situa-se ao sul do lineamento Rio Uruguai. Suas rochas aflorantes são predominantemente fluxos de lava. Diques e *sills* são raros. Sua porção basal é composta principalmente por basaltos toleíticos, enquanto que sua porção superior compõe-se de riodacitos e riolitos. Os litotipos intermediários concentram-se entre as porções inferior (básica) e superior (ácida). As lavas básicas e intermediárias pertencem principalmente à suíte de baixo  $\text{TiO}_2$  e normalmente, apresentam em sua composição cristais de plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, olivina e minerais opacos. As lavas ácidas pertencem à família das

vulcânicas Palmas e normalmente compõem-se por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio e minerais opacos.

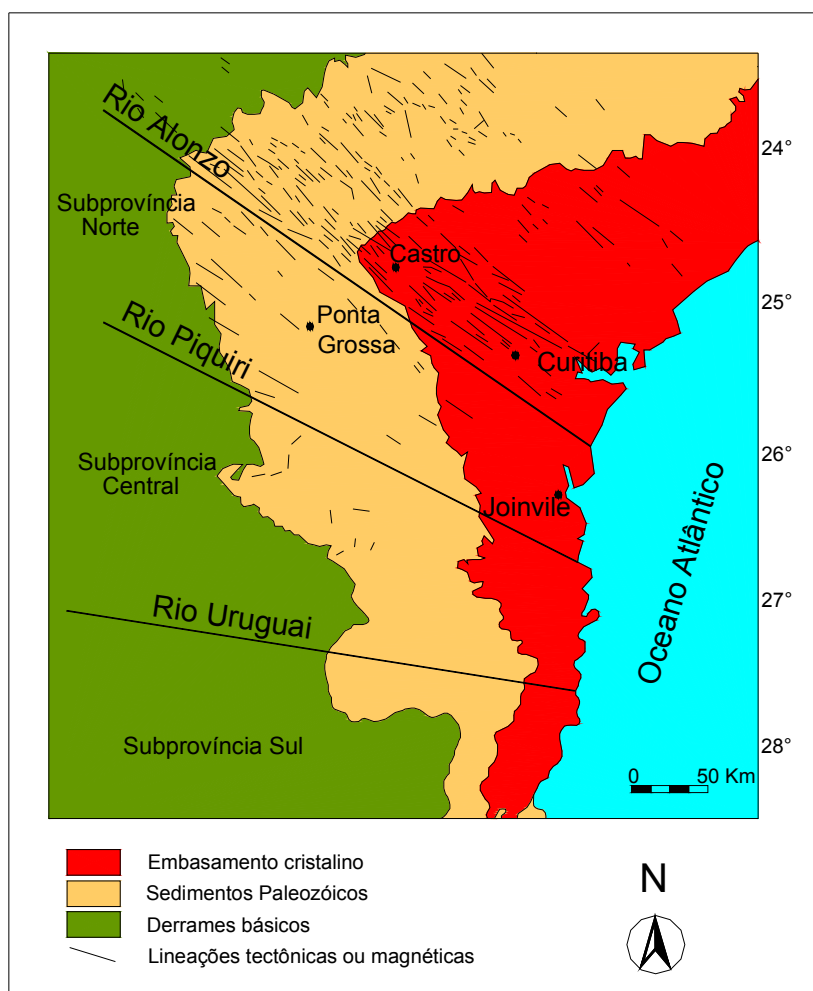


Figura 7 – Mapa geológico generalizado da porção centro-leste da Bacia do Paraná, destacando os principais lineamentos tectônicos e/ou magnéticos (Raposo, 1995)

A Subprovíncia Central localiza-se entre os lineamentos Rio Uruguai e Rio Piquiri. Suas rochas aflorantes também correspondem predominantemente a fluxos de lavas e diques e *sills* continuam escassos. É composta por suítes vulcânicas similares àquelas que ocorrem nas regiões norte e sul e pode ser considerada uma zona de transição entre essas regiões. As lavas básicas pertencem principalmente à suíte de baixo  $\text{TiO}_2$  e os fluxos ácidos estão representados pelos tipos Chapecó e Palmas. Nos litotipos Chapecó predomina a afinidade riodacítica e, no Palmas, riolítica. A região central também foi subdividida por Nardy *et al.* (1993) em quatro

unidades litoestratigráficas: unidade spK (unidade sedimentar), unidade básica JKSG (unidade vulcânica de natureza básica intermediária), unidade ácida JKSG $\alpha$ 1 (unidade vulcânica de natureza ácida caracterizada por rochas do tipo Palmas) e unidade ácida JKSG $\alpha$ 2 (unidade vulcânica de natureza ácida caracterizada por rochas do tipo Chapecó).

A Subprovíncia Norte situa-se a norte do lineamento Rio Piquiri. É caracterizada por extensivos afloramentos de *sills*, pela alta concentração de diques, principalmente na área do Arco de Ponta Grossa, e pela disseminação de fluxos de lavas estratificados. Os fluxos de lava correspondem principalmente a basaltos toleíticos, recobertos por raros fluxos ácidos (riolitos e riodacitos) no limite sudoeste. A grande maioria das lavas básicas pertence à família de alto TiO<sub>2</sub> e normalmente são compostas por cristais de plagioclásio, augita, pigeonita, ortopiroxênio, vidro e minerais opacos. Os fluxos ácidos são representados pelas rochas do tipo Chapecó de natureza predominantemente riolítica.

Peate *et al.* (1990), na tentativa de elucidar o *status* dos grupos composicionais nas lavas da Bacia do Paraná e simplificar a modelagem petrogenética, distinguiram seis tipos magmáticos, agrupados dentro das variedades alto e baixo TiO<sub>2</sub>. Dentro do grupo de baixo TiO<sub>2</sub> foram distinguidos os magmas-tipo Gramado e Esmeralda. No grupo de alto TiO<sub>2</sub> foram definidos os magmas-tipo Urubici, Pitanga, Paranapanema e Ribeira. As principais características de cada magma-tipo são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Principais características químicas dos diferentes magmas-tipo definidos por Peate *et al.* (1990) e Peate (1997)

MAGMA TIPO	TiO <sub>2</sub> (%)	Ti/Y	Ti/Zr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sub>i</sub>
Gramado	0,7 – 1,9	<310	<70	0,7075 – 0,7167
Esmeralda	1,1 – 2,3	<310	>60	0,7046 – 0,7086
Ribeira	1,5 – 2,3	>310	>65	0,7055 – 0,7060
Paranapanema	1,7 – 3,2	>330	>65	0,7055 – 0,7063
Pitanga	> 2.9	>350	>60	0,7055 – 0,7060
Urubici	> 3.3	>500	>57	0,7048 – 0,7065

O magma-tipo Gramado possui enriquecimento relativo em LILE (*large ion lithophiles elements*) sobre elementos terras raras leves e HFSE (*high field strength elements*) e apresenta anomalia negativa em  $\text{TiO}_2$ . O magma Esmeralda é similar ao Gramado, porém menos enriquecido em elementos traço incompatíveis. Os magmas-tipo Gramado e Esmeralda apresentam significativo empobrecimento de Nb e Ta em relação ao La. O magma-tipo Gramado apresenta alta razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  (0,7075 – 0,7167) e valores negativos de  $\epsilon\text{Nd}$ , enquanto que o magma-tipo Esmeralda apresenta baixa razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  (0,7046 – 0,7086) e valores negativos a positivos de  $\epsilon\text{Nd}$ .

Os magmas-tipo Ribeira, Paranapanema e Pitanga apresentam concentrações variáveis de  $\text{TiO}_2$  (1,5 – 4,1%), mas apresentam composições comuns, destacando-se o padrão similar dos elementos traço em *spidergrams* e as anomalias negativas de Nb – Ta. Estes magmas possuem variação restrita na composição isotópica ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,7055 – 0,7063$ ;  $\epsilon\text{Nd}_i = -1,6$  a  $-3,6$ ;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17,81$  a  $18,12$ ). Juntos, os magmas-tipo Ribeira, Paranapanema e Pitanga representam aproximadamente metade do volume total das lavas preservadas (Peate, 1997).

O magma-tipo Urubici possui alto  $\text{TiO}_2$  (>3%) e assemelha-se ao magma-tipo Pitanga em relação aos elementos terras raras e HFSE. Difere-se por sua elevada concentração em Sr (550 ppm) e baixo  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(t)}$  (14,5 wt%), e seu maior fracionamento em HREE (*heavy rare earth elements*).

O empobrecimento em Nb e Ta em relação a La e K, o enriquecimento em Sr e Nd e os valores positivos de  $\epsilon\text{Sr}$  e negativos de  $\epsilon\text{Nd}$  compreendem as feições mais marcantes no padrão dos elementos traço e concentrações isotópicas dos magmas na Bacia do Paraná (Hawkesworth *et al.* 1988).

### 2.3 SILLS NA BACIA DO PARANÁ

A literatura especializada descreve um grande número de *sills* na Bacia do Paraná, identificados em afloramentos ou por meio de perfis de furos de sondagem em diferentes níveis estratigráficos.

De acordo com Soares (1985), os *sills* mais expressivos da Bacia do Paraná estão concentrados no flanco ENE, na região centro-leste e nordeste dos estados do Paraná e São Paulo. *Sills* aflorantes na borda nordeste da bacia foram descritos por vários autores (Melfi e Girardi, 1962; Asmus, 1966; Davino *et al.* 1982; Soares, 1985; Maniesi, 1991).

Soares (1985) realizou um estudo detalhado sobre *sills* na bacia, onde efetuou o mapeamento dos corpos e descreveu as principais características estruturais e mineralógicas. Os corpos mapeados no estudo incluem os *sills* de Borda da Mata, Cachoeiras das Emas, Vaçununga, Serra de Santana, Iracemópolis, Cosmópolis, Fartura e Salto do Itararé (aflorantes no Estado de São Paulo) e os *sills* de Siqueira Campos, Jaguariaíva, Sapopema, Reserva, Prudentópolis e Irati, aflorantes no Estado do Paraná.

Soares (1981) sugere que a ocorrência dos *sills* é condicionada por fatores estratigráficos e tectônicos. O condicionamento estratigráfico é revelado pela existência de níveis preferenciais de intrusão. Na Bacia do Paraná, os *sills* ocorrem preferencialmente intrudidos nos horizontes com maior concentração de matéria orgânica, destacando-se as formações Irati e Ponta Grossa. Secundariamente, ocorrem nos siltitos das formações Rio Bonito e Teresina, seguido pelos pelitos do Grupo Itararé (Soares, 1985). A ocorrência de *sills* em horizontes mais arenosos ou em derrames da Formação Serra Geral é restrita (Cordani e Vandomos, 1967). Na Formação Botucatu destacam-se os *sills* de Igarapava (Melfi e Girardi, 1962) e Gravataí (Morris, 1963 *in* Cordani e Vandomos, 1967 ).

O condicionamento tectônico ocorre em áreas em que o esforço de compressão horizontal se apresenta como esforço máximo, dificultando a formação de diques e favorecendo a intrusão de *sills* (Soares, 1981).

As espessuras destes corpos são variáveis, mas a grande maioria apresenta espessura média da ordem de 50 a 100 m. No interior da bacia alguns corpos chegam a acumular 250 m de espessura (Soares, 1985). De acordo com o autor, *sills* com espessuras superiores a 100 m apresentam boa variação textural, com zonas de rápido resfriamento nos contatos com as encaixantes, incluindo feições amigdaloidais e granulometria crescente para o centro do corpo.

As formas dos corpos também são variáveis, porém a maioria dos *sills* ocorre frequentemente em forma de lençol, com poucas perturbações nas



encaixantes, além de intenso fraturamento. Ondulações suaves nos contatos basal ou superior são comuns. Em alguns casos as intrusões acompanham a forma de depressão estrutural ou dômica pré-existente nas encaixantes.

As rochas intrusivas são predominantemente de composição basáltica toleítica (>90% volume), subordinadamente ocorrem andesitos toleíticos, riolitos e riolitos (Piccirillo *et al.*, 1990, Ernesto *et al.*, 1999). Bellieni *et al.* (1984) mostram que na evolução dos processos sob condições de baixa temperatura desenvolveu-se cristalização *in situ* de piroxênio rico em Ca + plagioclásio e, subordinadamente olivina, pigeonita e Ti-magnetita. Estágios avançados desta diferenciação são representados por intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino.

Composicionalmente, os *sills* apresentam quimismo distinto dependendo da sua distribuição regional. Os *sills* presentes na região sul da Bacia do Paraná normalmente pertencem à família de baixo TiO<sub>2</sub> e são empobrecidos em elementos incompatíveis (exceto para Rb), ao passo que os *sills* da região norte são enriquecidos em elementos incompatíveis, apresentam maior concentração de álcalis em relação à sílica e pertencem a família de alto TiO<sub>2</sub>. As feições químicas e mineralógicas dos *sills* são similares às das vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, principalmente as rochas toleíticas de alto TiO<sub>2</sub> (Bellieni *et al.* 1984).

De acordo com a proposta de Peate *et al.* (1990), os *sills* da região norte e central da bacia são magmas-tipo Paranapanema e Pitanga, enquanto que na região sul predominam os magmas-tipo Urubici, Esmeralda e Gramado.

Ernesto *et al.* (1999) desenvolveram estudos paleomagnéticos, químicos e radiométricos em *sills*, diques e derrames. As análises paleomagnéticas permitem dividir os *sills* em dois domínios, sendo um a norte caracterizado por *sills* com polaridades reversas e outro ao sul, caracterizado por *sills* com polaridades normais. De acordo com os autores, a variação registrada na polaridade dos corpos analisados pode ser decorrente de dois pulsos magmáticos. Os autores realizaram, ainda, ensaios radiométricos em três *sills*, que forneceram idades <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar (129±0,1, 130,3±0,1 e 131,9±0,4Ma) similares às idades obtidas em diques do arco de Ponta Grossa e aos fluxos de lava na região norte da Bacia do Paraná.

Estudos petrográficos e geoquímicos realizados por Maniesi (1991) nos *sills* de Reserva (PR) e Salto do Itararé (SP) revelaram rochas compostas por plagioclásio, piroxênios (augita e pigeonita), minerais opacos, quartzo, olivina, zircão

e minerais secundários, consistindo petrograficamente desde olivina diabásios até granófiros. Quimicamente as rochas são representadas por basaltos subalcalinos, lati-basaltos, andesi-basaltos, andesitos, lati-andesitos, dacitos e riolitos. O autor realizou, ainda, cálculos de balanço de massa que mostram a viabilidade do processo de cristalização fracionada para explicar a evolução dos diferentes litotipos básicos e intermediários existentes.

*Sills* aflorantes na região centro-leste do Estado do Paraná foram estudados por Vasconcellos *et al.* (2003). O estudo contemplou os *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati, Rebouças, Ponta Grossa e Ortigueira. A partir de estudos petrográficos e geoquímicos, os autores definiram duas fases térmicas durante a evolução dos corpos estudados.

### 3 MÉTODOS DE TRABALHO

Neste capítulo são apresentados os dados e as informações utilizados na pesquisa, bem como os principais aspectos referentes à base conceitual dos métodos empregados. Todo o planejamento de aquisição dos dados e escolha dos métodos foi direcionado com base nos objetivos previamente estabelecidos.

#### 3.1 AQUISIÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Inicialmente realizou-se o levantamento de cartas e mapas topográficos e geológicos das regiões estudadas. Foram utilizados os mapas topográficos, em escala 1:50.000, dos municípios de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças, que correspondem às folhas SG. 22 – X – A – IV – 1 (Serviço Geográfico do Exército, 1967), SG.22 – X – C – I – 4 (Serviço Geográfico do Exército, 1968), SG.22 – J – I – 1 (Ministério do Exército, 1989a), SG.22 – X – C – IV – 2 (Ministério do Exército, 1989b), respectivamente. Para a região dos *sills* de Ponta Grossa foi utilizado o mapa topográfico do município homônimo, em escala 1:200.000, correspondente à folha SG.22 – X – C (IBGE, 1983). As cartas topográficas foram utilizadas para auxiliar as atividades de campo, servindo como guias de acesso, observação e reconhecimento preliminar da área.

Para o reconhecimento geológico da área foi utilizado o mapa geológico do Estado do Paraná (Mineropar, 2001), em escala 1:200.000. Para as regiões de Reserva, Prudentópolis e Irati foram utilizados os mapas geológicos do Projeto Carvão (Mineropar, 1983) em escala 1:100.000. Para a região de Reserva foi utilizado, ainda, o mapa geológico do Projeto Rio Sapucaí (Soares *et al.*, 1987), em escala 1:25.000. Para a região de Ponta Grossa, foi utilizado o mapa geológico do Projeto Leste (CPRM, 1977), em escala 1:50.000.

As atividades de campo foram auxiliadas pela utilização de fotografias aéreas, em escala 1:25.000, obtidas pelo Instituto de Terras e Cartografia do Paraná (ITC-PR) no ano de 1980, nas quais foram delineados quebras negativas e positivas, principais drenagens, lineamentos, observando e caracterizando propriedades da fotointerpretação, como a resistência à erosão, diferenças de tonalidade, densidade

de elementos estruturais, forma das encostas, entre outras. Por meio dessas propriedades foram estabelecidos contatos litológicos, zonas homólogas e delimitados possíveis corpos geológicos.

A identificação e discriminação de diques e *sills*, caracterização das espessuras, posição espacial e variação vertical dos *sills* foi realizada por meio da aquisição de dados de perfis de poços para petróleo. Os dados utilizados foram àqueles concedidos aos projetos de pesquisa desenvolvidos pelo Departamento de Geologia da UFPR, obtidos em campanhas exploratórias realizadas pela PETROBRAS.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados, ainda, os dados adquiridos pelo projeto “Modelo termal de formação das rochas ígneas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e sua influência nos sistemas petrolíferos Ponta Grossa – Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia – Projeto SEGEPETRO CNPq Nº 460430/01-7 ” desenvolvido por Vasconcellos *et al.* (2004).

### 3.2 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

O mapeamento geológico foi realizado nas regiões de Reserva, Prudentópolis, Irati, Rebouças e Ponta Grossa, com o objetivo de caracterizar a forma dos corpos, as relações com as encaixantes e relações estratigráficas. Seguiu procedimento convencional, com fotointerpretação, descrição litológica e medidas estruturais.

Na primeira campanha foram descritos 37 pontos que resultaram em 104 amostras coletadas, numeradas de E-01/01 a E-37/104. As amostras foram numeradas em função dos pontos descritos em campo e da amostragem realizada. Por exemplo, na amostra E-15/36, 15 corresponde ao ponto descrito e 36 ao número da amostra. Na segunda campanha, realizada apenas na região do *sill* de Reserva, foram descritos 35 pontos. Todos os pontos foram amostrados, dos quais resultaram 71 amostras numeradas de AR-01/01 a AR-35/71.

A relação de todos pontos descritos está sumarizada no apêndice I.

### 3.3 PETROGRAFIA

As lâminas delgadas foram cedidas pelo projeto SEGEPETRO. Foram utilizadas para acompanhar e auxiliar os estudos de química mineral, geotermobarometria, modelagem geoquímica e térmica. As lâminas delgadas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação Petrográfica (LAMIN) e analisadas em microscópio petrográfico binocular do Laboratório de Mineralogia e Petrologia (LAPEMIN), ambos do Departamento de Geologia da UFPR. Foram analisadas as rochas dos *sills*, visando principalmente sua caracterização textural e estrutural. Durante as descrições foram realizadas capturas de imagens fotomicrográficas dos minerais estudados.

### 3.4 GEOQUÍMICA

Para a modelagem geoquímica e cálculos de temperatura e pressão de cristalização dos piroxênios e plagioclásios foram utilizadas as análises químicas obtidas por Vasconcellos *et al.* (2003) e dados inéditos obtidos pelo projeto SEGEPETRO. As amostras foram analisadas por fluorescência de raios X no laboratório do Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, SP (IGCE – UNESP). Foram analisados 10 elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{t})}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e 10 elementos traço (Cr, Ni, Cu, Zn, Ba, Rb, Sr, Zr, Y e Nb) (Anexo I). Foram analisados ainda, por plasma, 10 elementos terras raras (Lu, Dy, Er, Yb, Gd, La, Eu, Nd, Ce, Sm) (Anexo II). As amostras foram preparadas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal do Paraná, onde foram britadas, quarteadas e pulverizadas.

Para a modelagem térmica dos corpos foram necessários novos ensaios químicos, visando um maior recobrimento dos corpos estudados. Foram selecionadas 30 amostras do total coletado, escolhidas segundo suas características composicionais e texturais, e também de acordo com sua posição espacial, ou seja, sua localização dentro do corpo (centro ou borda) e sua posição topográfica (contato superior, contato inferior ou centro). As análises foram realizadas por fluorescência

de raios X no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia da UFPR. Foram analisados apenas os elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(t)}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (Anexo III).

### 3.5 QUÍMICA MINERAL

Os dados de química mineral, obtidos pelo projeto SEGEPETRO, foram gentilmente cedidos para o desenvolvimento da pesquisa. A escolha das amostras para o ensaio de química mineral considerou as análises petrográfica e geoquímica previamente realizadas.

Foram analisadas 21 amostras de basaltos, microgabros e gabros dos *sills* estudados. Os minerais estudados foram predominantemente plagioclásios e piroxênios, em fenocristais, microfenocristais e matriz. Subordinadamente, foram analisados minerais opacos (magnetita e ilmenita), clorita, anfibólios, biotita e olivina. As composições foram sistematicamente determinadas em borda e núcleo dos cristais.

As análises foram realizadas em setembro/2003, no Instituto de Geociências da USP, em microsonda eletrônica JEOL equipada com espectrômetros WDS e EDS e encontram-se nos anexos IV (plagioclásios), V (piroxênios), VI (olivina), VII (óxidos) e VIII (anfíbólios).

As análises obtidas foram utilizadas na caracterização mineralógica de cada *sill*, nos cálculos de temperatura e pressão dos plagioclásios e piroxênios e na modelagem geoquímica.

### 3.6 CÁLCULOS DE TEMPERATURA E PRESSÃO

As condições de temperatura e pressão de cristalização dos *sills* foram calculadas utilizando a composição de rocha total e as composições minerais de plagioclásios e clinopiroxênios, utilizando os termobarômetros calibrados por Putirka (2005) e Putirka *et al.* (2003).

O termobarômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003), aplicado para clinopiroxênios, é baseado na cristalização da jadeíta e no equilíbrio de troca Jadeíta – Diopsídio – Hedembergita. Similarmente, os termobarômetros calibrados para plagioclásios são baseados nas composições plagioclásio – líquido, fundamentados na cristalização da anortita e na reação de troca entre anortita e albita.

### 3.7 MODELAGEM GEOQUÍMICA DAS INTRUSÕES

A modelagem geoquímica consiste na identificação e quantificação do fracionamento magmático, estabelecida a partir dos elementos maiores e testada com base no comportamento dos elementos traços. Para a modelagem inicial são identificados alguns minerais em proporções aproximadas que, possivelmente, foram extraídos do magma para explicar o comportamento dos elementos que mostram tendência a empobrecimento ao longo do fracionamento. Posteriormente, são identificados os elementos traço que apresentam comportamento perfeitamente incompatível ( $D \approx 0$ ) e estimados os coeficientes de partição ( $K_D$ ), considerando os minerais participantes do fracionamento e suas proporções relativas estimadas na primeira etapa. As rochas menos e mais fracionadas são consideradas como magma parental e derivado, respectivamente. O comportamento dos elementos traço é modelado utilizando a equação de *Rayleigh* (Cox *et al.* 1979).

Este procedimento, desenvolvido com o auxílio do software *Genesis* (Teixeira, 1997), foi adotado para modelagem geoquímica de cada *sill* estudado. Foram selecionadas as rochas mais e menos evoluídas de cada *sill* e empregadas as fases augita, pigeonita, plagioclásio, ilmenita, magnetita, olivina e apatita para determinação de  $F$  (quantidade de líquido remanescente) e  $r^2$  (soma dos quadrados dos resíduos).

### 3.8 MODELAGEM TÉRMICA DAS INTRUSÕES

Consiste no estabelecimento da distribuição e variação da temperatura dentro do corpo intrusivo a partir do traçado das isotermas. O modelo foi construído

a partir das estimativas de temperatura em diferentes pontos do corpo com auxílio do *software* Surfer e RockWorks. Dentre os corpos estudados, o *sill* de Reserva foi selecionado como área alvo para desenvolver este procedimento.

Para estabelecer a distribuição térmica, são necessários extensivos ensaios de química mineral, uma vez que o geotermômetro utilizado requer a composição total da rocha e a composição química dos minerais. Entretanto, a análise via microsonda eletrônica em inúmeras amostras tornaria sua aplicação inviável. Para produzir os mapas de distribuição térmica sem a realização desta análise, optou-se por obter a composição mineral a partir da norma CIPW. Os plagioclásios foram os minerais selecionados.

### 3.8.1 Determinação da Composição dos Plagioclásios

A composição química dos plagioclásios foi determinada com base no cálculo da norma CIPW, a partir da composição de rocha total com o auxílio de diagramas binários. Os diagramas foram construídos a partir da composição média aritmética dos plagioclásios, obtida a partir de análise em microsonda eletrônica (Tabela 2) vs. a composição dos plagioclásios estimada a partir do cálculo da norma CIPW (Tabela 3). As composições médias foram obtidas a partir de 71 análises pontuais distribuídas em 17 rochas e correspondem às análises utilizadas nos estudos prévios de química mineral e geotermobarometria.

Foram construídos diagramas para  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (Figuras 8, 9, 10, 11 e 12, respectivamente) para avaliar a relação entre a análise realizada por microsonda eletrônica e aquela estimada pela norma CIPW. Para avaliar a correlação entre as variáveis  $x$  e  $y$  utilizou-se o coeficiente de Spearman, que varia de 0,281 a 0,828. A análise dos diagramas revela alta dispersão para a alumina, com coeficiente de correlação igual a 0,281, indicando maior incerteza na previsão. Os demais diagramas apresentam coeficientes de correlação superiores a 0,66.

A efetividade dos diagramas, na determinação da composição química dos plagioclásios, foi testada a partir da projeção da composição normativa. Foram utilizadas as amostras que dispunham de análise em microsonda eletrônica e comparados os resultados. A comparação entre a composição obtida a partir de



análise em microsonda com aquela obtida através da projeção nos diagramas binários forneceu resultados satisfatórios (Tabela 4). A razão calculado/observado situa-se no intervalo próximo a 1,0 com margem de erro preferencialmente inferior a 10%.

Tabela 2 – Composição média dos plagioclásios dos *sills* estudados obtida a partir de ensaios em microsonda eletrônica

AMOSTRA	Nº pontos analisados por amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
E-13/30	3	54,46	28,06	11,47	5,00	0,37
E-15/34	4	58,22	25,32	7,80	6,69	0,69
E-15/35	5	55,70	27,23	10,30	5,51	0,35
E-15/36	3	55,91	26,71	9,78	5,82	0,44
E-16/39	5	56,89	26,66	9,19	6,09	0,48
E-19/44	3	56,65	26,35	9,56	5,91	0,50
E-19/45	2	57,99	25,11	8,04	6,77	0,61
E-19/46	2	54,26	26,78	10,39	5,15	0,40
E-23/56	5	55,79	26,93	10,01	5,56	0,54
E-23/57	4	53,20	28,34	11,63	4,69	0,35
E-25/64	4	55,06	27,92	10,73	5,03	0,53
E-32/76	5	55,33	27,28	10,24	5,25	0,56
E-34/80	6	53,47	28,51	12,04	4,51	0,20
E-34/82	5	50,52	30,61	14,36	3,28	0,11
E-35/89	6	53,63	28,31	11,78	4,67	0,28
E-36/91	6	53,28	28,65	12,01	4,56	0,28
E-36/93	3	54,05	28,14	11,42	4,86	0,33

Tabela 3 – Composição dos plagioclásios dos *sills* estudados estimada por meio do cálculo da norma CIPW

AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
E-13/30	27,67	13,29	4,49	2,43	1,03
E-15/34	35,89	12,55	1,96	3,40	3,12
E-15/35	30,95	13,18	3,63	2,92	1,62
E-15/36	31,56	13,73	3,94	2,84	1,73
E-16/39	32,50	13,79	3,77	3,09	1,69
E-19/44	31,42	13,25	3,58	3,04	1,59
E-19/45	31,95	13,40	3,58	3,14	1,58
E-19/46	31,03	13,74	4,07	2,97	1,32
E-23/56	35,32	13,26	2,68	3,26	2,78
E-23/57	31,99	13,56	3,70	2,85	1,96
E-25/64	33,30	13,69	3,50	3,11	2,02
E-32/76	32,18	13,93	3,96	2,82	1,91
E-34/80	26,22	13,69	5,16	2,23	0,58
E-34/82	25,57	13,99	5,55	2,07	0,43
E-35/89	26,08	12,86	4,50	2,29	0,82
E-36/91	28,89	14,17	4,93	2,57	0,89
E-36/93	27,96	13,22	4,36	2,50	1,07

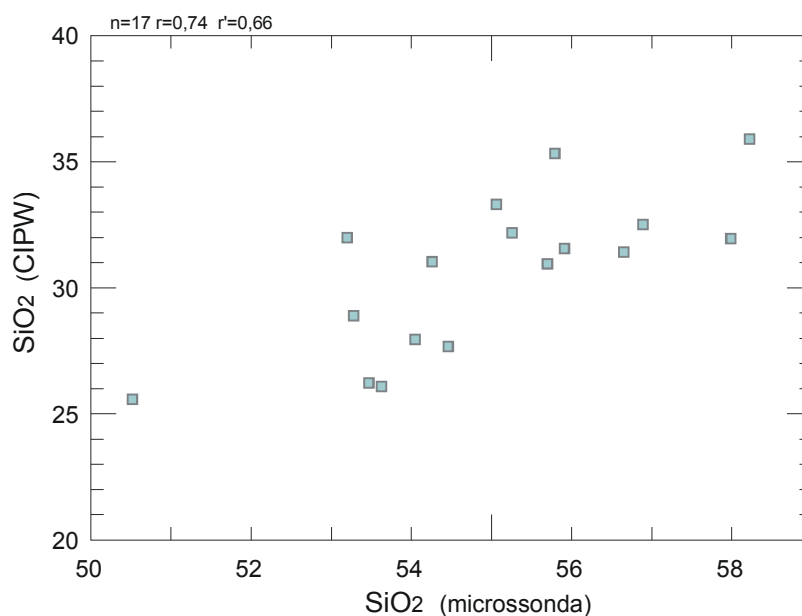


Figura 8 – Diagrama binário tendo na abscissa a concentração de SiO<sub>2</sub> obtida a partir de análise por microsonda eletrônica vs. concentração de SiO<sub>2</sub> obtida a partir da composição da rocha por meio da norma CIPW (r'=coeficiente de spearman)

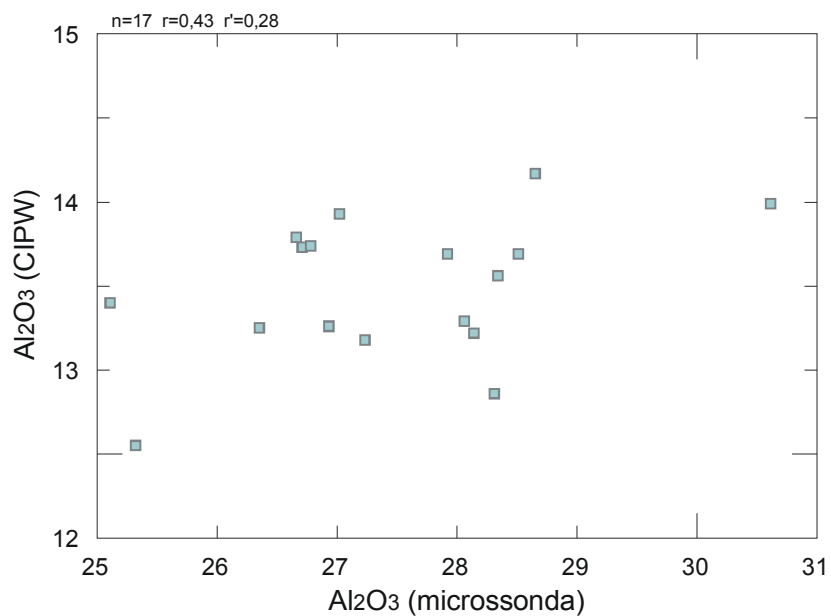


Figura 9 – Diagrama binário tendo na abscissa a concentração de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtida a partir de análise por microsonda eletrônica vs. concentração de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtida a partir da composição da rocha por meio da norma CIPW

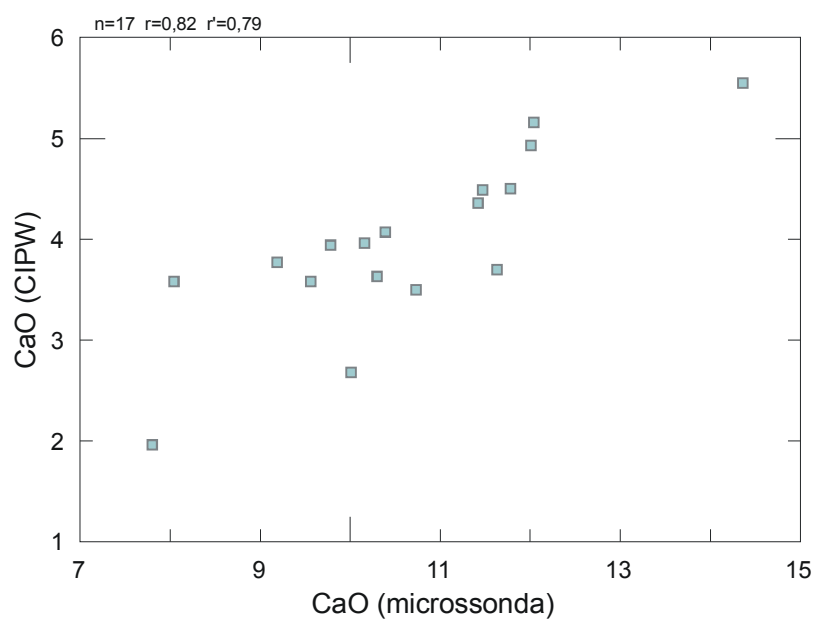


Figura 10 – Diagrama binário tendo na abscissa a concentração de  $\text{CaO}$  obtida a partir de análise por microsonda eletrônica vs. concentração de  $\text{CaO}$  obtida a partir da composição da rocha por meio da norma CIPW

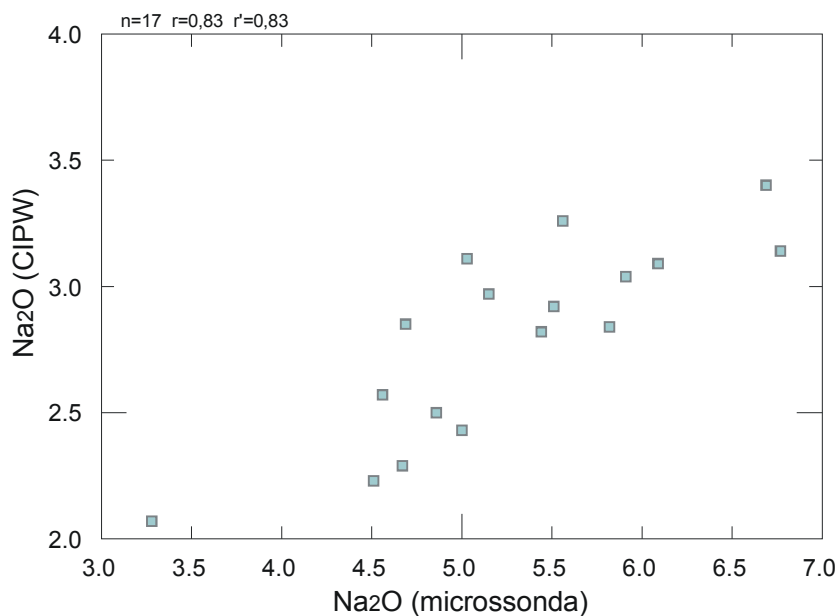


Figura 11 – Diagrama binário tendo na abscissa a concentração de  $\text{Na}_2\text{O}$  obtida a partir de análise por microsonda eletrônica vs. concentração de  $\text{Na}_2\text{O}$  obtida a partir da composição da rocha por meio da norma CIPW

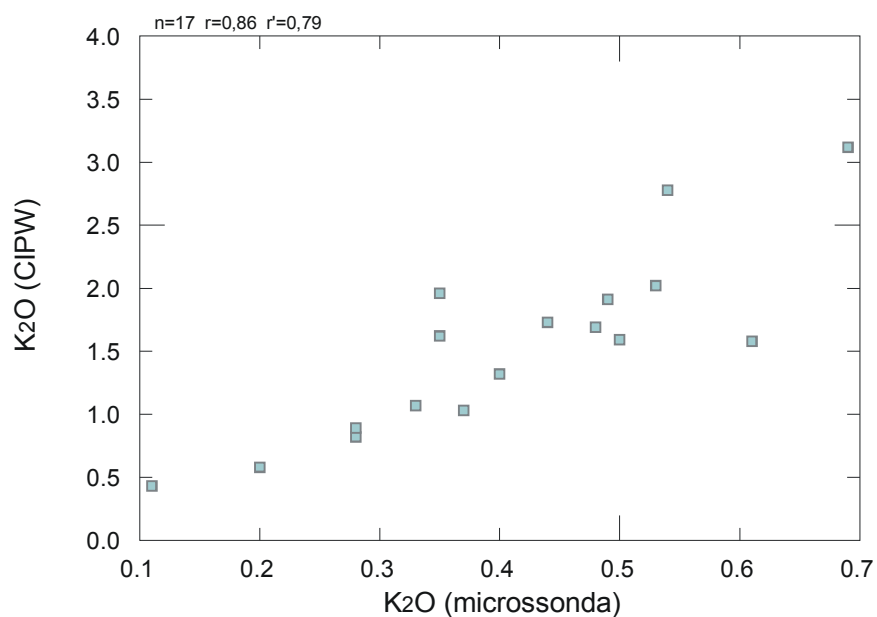


Figura 12 – Diagrama binário tendo na abscissa a concentração de  $\text{K}_2\text{O}$  obtida a partir de análise por microsonda eletrônica vs. concentração de  $\text{K}_2\text{O}$  obtida a partir da composição da rocha por meio da norma CIPW

Após construídos e testados os diagramas, novas análises foram submetidas aos ensaios. Foram selecionadas 30 amostras do *sill* de Reserva analisadas por fluorescência de Raios X (Anexo III). A composição mineral dos plagioclásios obtida pelo cálculo da norma CIPW (tabela 4), foi projetada nos diagramas previamente construídos, fornecendo assim a composição média dos plagioclásios para as rochas analisadas (Tabela 5).

Tabela 4 – Composição média dos plagioclásios do *sill* de Reserva estimada pela norma CIPW

AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
AR-01/01	29,70	12,64	3,48	2,77	1,61
AR-09/17	29,02	12,68	3,67	2,74	1,37
AR-12/19	29,81	14,13	4,68	2,66	1,13
AR-17/40	29,87	13,00	3,74	2,79	1,48
AR-18/41	31,97	12,16	2,55	3,00	2,37
AR-19/43	30,15	13,14	3,79	2,82	1,48
AR-19/44	27,65	12,27	3,65	2,59	1,25
AR-20/45	30,94	12,60	3,16	3,16	1,52
AR-20/46	30,51	12,54	3,21	3,10	1,47
AR-21/57	29,05	12,42	3,45	2,74	1,50
AR-22/48	29,66	12,41	3,30	2,81	1,64
AR-23/50	30,12	13,10	3,76	2,81	1,50
AR-24/51	30,06	13,01	3,70	2,79	1,55
AR-25/52	28,15	12,04	3,35	2,67	1,43
AR-26/53	32,79	14,52	4,31	3,12	1,42
AR-27/54	29,67	12,55	3,41	2,77	1,64
AR-28/56	30,91	12,19	2,83	2,81	2,23
AR-30/59	30,31	13,65	4,17	2,85	1,26
AR-30/60	26,62	11,97	3,65	2,44	1,21
AR-31/61	29,60	12,66	3,52	2,73	1,62
AR-32/62	29,56	11,50	2,57	2,73	2,14
AR-33/63	30,76	12,97	3,50	2,91	1,66
AR-34/64	31,19	12,57	3,07	3,09	1,74
AR-35/65	28,84	12,85	3,85	2,66	1,34
AR-35/66	31,88	14,75	4,71	2,98	1,17
AR-35/67	28,55	13,51	4,46	2,61	1,00
AR-35/68	24,77	11,23	3,47	2,28	1,07
AR-35/69	24,16	10,95	3,38	2,22	1,05
AR-35/70	26,64	11,98	3,65	2,41	1,26
AR-35/71	28,79	12,69	3,73	2,67	1,38

Tabela 5 – Composição média dos plagioclásios do *sill* de Reserva estimada a partir da composição da rocha pelo cálculo da norma CIPW com o auxílio de diagramas binários

AMOSTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TOTAL
AR-01/01	54,19	21,08	9,54	5,20	0,43	90,44
AR-09/17	53,62	21,38	9,97	5,12	0,37	90,46
AR-12/19	54,28	32,27	12,23	4,90	0,31	103,99
AR-17/40	54,34	23,79	10,12	5,25	0,40	93,89
AR-18/41	56,10	17,48	7,47	5,82	0,61	87,48
AR-19/43	54,57	24,84	10,23	5,33	0,40	95,36
AR-19/44	52,47	18,31	9,93	4,71	0,34	85,76
AR-20/45	55,23	20,78	8,82	6,25	0,40	91,49
AR-20/46	54,87	20,33	8,94	6,09	0,39	90,62
AR-21/57	53,64	19,43	9,48	5,12	0,40	88,07
AR-22/48	54,16	19,36	9,14	5,31	0,43	88,39
AR-23/50	54,54	24,54	10,17	5,31	0,40	94,96
AR-24/51	54,50	23,86	10,04	5,25	0,41	94,06
AR-25/52	52,89	16,58	9,25	4,93	0,38	84,02
AR-26/53	56,78	35,20	11,40	6,14	0,38	109,90
AR-27/54	54,17	20,41	9,39	5,20	0,43	89,60
AR-28/56	55,21	17,71	8,08	5,31	0,58	86,88
AR-30/59	54,70	28,67	11,09	5,41	0,34	100,21
AR-30/60	51,60	16,05	9,92	4,31	0,33	82,21
AR-31/61	54,10	21,23	9,63	5,09	0,43	90,49
AR-32/62	54,07	12,53	7,51	5,09	0,55	79,76
AR-33/63	55,08	23,56	9,60	5,58	0,44	94,26
AR-34/64	55,44	20,56	8,63	6,06	0,46	91,16
AR-35/65	53,46	22,66	10,38	4,90	0,36	91,77
AR-35/66	56,02	36,92	12,30	5,76	0,32	111,33
AR-35/67	53,22	27,62	11,75	4,77	0,28	97,63
AR-35/68	50,04	10,50	9,52	3,87	0,30	74,23
AR-35/69	49,53	8,40	9,32	3,71	0,29	71,25
AR-35/70	51,62	16,13	9,92	4,23	0,34	82,24
AR-35/71	53,42	21,46	10,11	4,93	0,37	90,29

As composições minerais dos plagioclásios obtidas a partir dos diagramas construídos foram utilizadas para determinar a temperatura de cristalização dos mesmos. A temperatura foi determinada através do geotermômetro calibrado por Putirka (2005) e utilizada na construção dos modelos de distribuição térmica.

#### 4 GEOLOGIA DOS CORPOS INTRUSIVOS

Os corpos intrusivos estudados ocorrem alojados em rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná, associados ao vulcanismo basáltico fissural que afetou a bacia no Juro-Cretáceo. Estão inseridos no contexto do Arco de Ponta Grossa, localizados nas porções central e sul do arco.

Os *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças, localizados próximos aos municípios homônimos, ocorrem encaixados preferencialmente na Formação Irati. Os *sills* de Ponta Grossa, aflorantes no município homônimo, ocorrem intrudidos preferencialmente na Formação Ponta Grossa.

As espessuras destes corpos em escala de afloramento são variadas, desde poucos metros até um máximo de 100 m. São comuns pedreiras que indicam espessuras da ordem de 30 a 50 m. No *sill* de Reserva, furos de sondagem realizados pela PETROBRAS forneceram espessuras de 148 m, porém Maniesi (1991) relata espessuras de até 200 m para o mesmo corpo. Nos demais *sills*, os furos de sondagem realizados pela PETROBRAS e CPRM não atingem, ou não foram locados, nos corpos intrusivos, inviabilizando estimativas precisas das espessuras destes corpos.

Os corpos estudados, especialmente o de Reserva, ocorrem frequentemente cortados por diques de direção preferencial NW-SE que possuem espessuras variadas, desde centimétricas até 300 metros, sendo o contato com os *sills* de difícil reconhecimento.

Os contatos dos *sills* com as encaixantes são concordantes e bruscos. As rochas encaixantes são preferencialmente folhelhos e siltitos, freqüentemente caracterizadas por auréolas de contato decorrentes da intrusão.

Estruturas como disjunções colunares foram descritas nos *sills* de Reserva, Prudentópolis, Rebouças e Ponta Grossa (Fotografia 1). São estruturas tabulares com seções horizontais com formas hexagonais, pentagonais e quadradas com dimensões de até 2,0 m no eixo maior, dispostas perpendicularmente à superfície do corpo magmático. As disjunções colunares são estruturas desenvolvidas após a solidificação da lava, durante o resfriamento. São estruturas decorrentes do processo de contração do corpo magmático pela perda progressiva de voláteis

durante seu resfriamento, cujos planos são desenvolvidos normalmente em direção perpendicular ao plano principal de resfriamento.

As rochas dos *sills* são basaltos e microgabros, excepcionalmente gabros. Os basaltos e/ou microgabros apresentam cor cinza escura e granulação fina (basaltos) a média (microgabros), compondo-se essencialmente por plagioclásio e piroxênio, exibindo estrutura maciça ou, eventualmente, amigdalóide. São rochas bastante homogêneas e suas variações são verificadas principalmente na interface *sill* – sedimento, onde exibem granulação muito fina a fina e textura afanítica.

Estudos petrográficos e geoquímicos prévios foram realizados por Vasconcellos *et al.* (2003) e Petersohn e Vasconcellos (2003). De acordo com os autores, as rochas dos *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati, Rebouças e Ponta Grossa são compostas essencialmente por labradorita, augita, magnetita, ilmenita, olivina e quartzo, tendo a apatita como principal acessório. Subordinadamente ocorrem biotita, clorita, hornblenda, argilominerais, carbonato e epidoto. As texturas variam de porfíricas, em matriz subofítica, a subafíricas e afíricas subofíticas a intergranulares. Quimicamente são classificadas como basaltos ou toleítos, andesi-basaltos e latitos, gerados por processo de cristalização fracionada, cujas fases minerais fracionantes incluem ilmenita, titanita, piroxênio e plagioclásio cálcico.



Fotografia 1 – Disjunções colunares descritas no ponto AR-35, região nordeste do *sill* de Reserva



#### 4.1 SILL DE RESERVA

O *sill* de Reserva localiza-se no município de Reserva no Estado do Paraná, sendo delimitado pelas coordenadas 7.288.718 e 7.267.922 m N e 509.014 e 525.506 m E, perfazendo aproximadamente 130 km<sup>2</sup> de área aflorante.

Segundo Maniesi (1991), ocorre encaixado nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, representadas na porção basal por siltitos arenosos da Formação Palermo e, a leste e oeste, por folhelhos e argilitos da Formação Irati. Nas adjacências, afloram ainda sedimentos das formações Teresina e Rio Bonito e do Grupo Itararé.

Os afloramentos na região apresentam-se freqüentemente alterados com manto de intemperismo de 20-30 metros de espessura. Entretanto, boas exposições de rocha podem ser encontradas no leito de drenagens, pedreiras desativadas, cachoeiras e no perfil na estrada de ferro Apucarana – Paranaguá (Figura 13 e fotografia 2). Ao longo deste perfil são reconhecidos os contatos superior e inferior do *sill* com a encaixante, onde são constatadas as principais variações texturais do corpo intrusivo. No contato com a encaixante, a rocha intrusiva exhibe granulação fina a muito fina e textura afanítica. À medida que se distancia do contato, sua granulação aumenta consideravelmente, tornando-se um microgabro.

Nos afloramentos descritos em pedreiras verificou-se boa homogeneidade do corpo intrusivo. As duas pedreiras descritas ocorrem ao longo da estrada de ferro e na porção sul da área estudada, respectivamente. A primeira possui forma oval, com uma bancada de aproximadamente 40 m de altura. A segunda apresenta forma semicircular composta por uma única bancada com aproximadamente 5 metros de altura. Em ambas as pedreiras as rochas são homogêneas, predominando aquelas com granulação média. Entretanto, ocorrem porções gabróicas associadas.

No extremo norte da área foi descrito o ponto AR-35 que corresponde a uma cachoeira com aproximadamente 100 m de queda livre, indicando a espessura mínima local do corpo intrusivo. Variações texturais foram observadas ao longo do perfil.

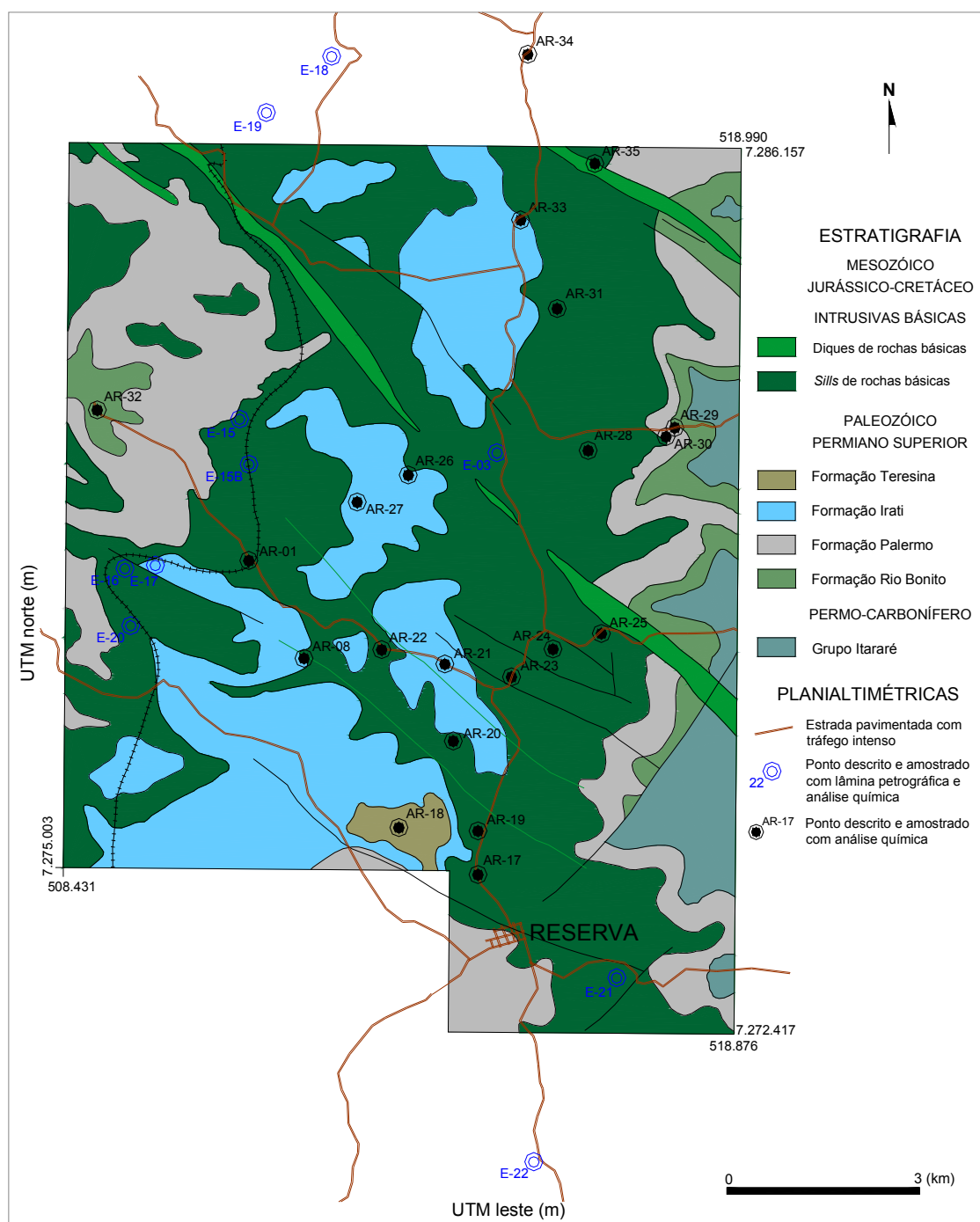


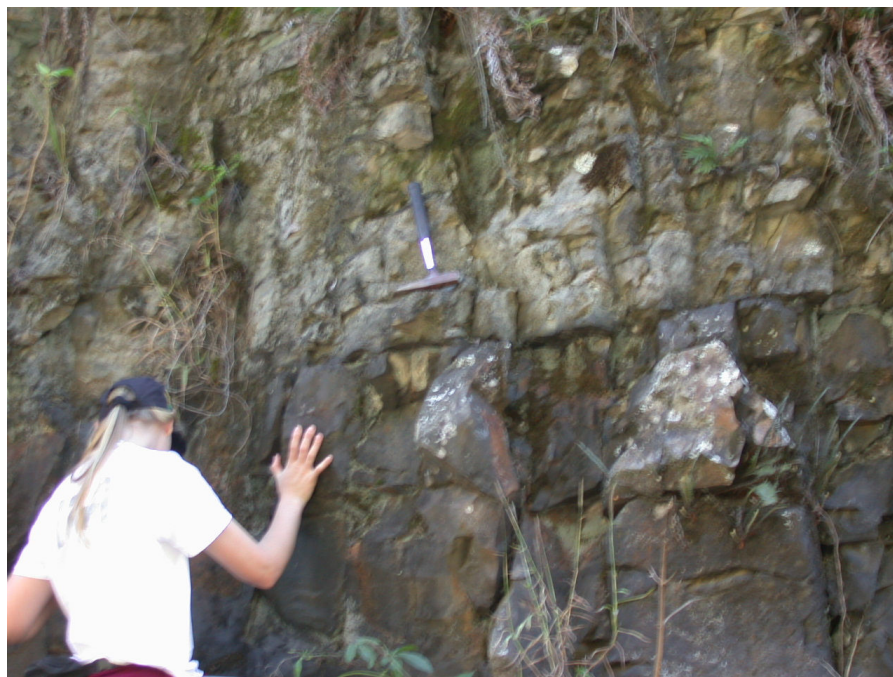
Figura 13 – Mapa geológico da área do *sill* de Reserva com localização dos pontos descritos e amostrados (Maniesi, 1991)



Fotografia 2 – Afloramento de microgabro ao longo via férrea Apucarana – Paranaguá

As rochas encaixantes do corpo intrusivo são folhelhos e siltitos. Os folhelhos são cinza escuros a esverdeados, apresentam granulação fina e composição argilosa. Exibem laminação plano-paralela definida pela intercalação de níveis brancos com níveis escuros, submilimétricos a milimétricos. Os níveis escuros apresentam composição argilosa e os níveis claros, composição mais quartzosa. Os níveis mais quartzosos normalmente são mais espessos, alguns atingem 2 a 3 mm de espessura.

No contato com o corpo intrusivo, verificam-se auréolas de contato formadas por rochas coesas, finas, compostas predominantemente por quartzo (Fotografia 3). São rochas de cor branca e composição siltico-arenosa, ocasionalmente exibem budinagem preenchida por quartzo, paralela ao acamamento. Com o aumento da distância do contato, verifica-se decréscimo da granulação e redução na proporção de quartzo.



Fotografia 3 – *Sill* em contato com folhelhos da Formação Irati descrito na estrada de ferro Apucarana - Paranaguá

#### 4.2 SILL DE PRUDENTÓPOLIS

O *sill* de Prudentópolis aflora a leste da cidade de Prudentópolis, limitado pelas coordenadas 7.212.818 e 7.207.999 m N e 512.320 e 522.932 m E, totalizando aproximadamente 20 km<sup>2</sup> de área aflorante. Estratigraficamente, assenta-se sobre os argilitos e ritmitos pertencentes à Formação Teresina. A leste, mantém contato com folhelhos e argilitos da Formação Irati (Figura 14).

Os afloramentos descritos na região são comumente caracterizados por espesso manto de intemperismo. Entretanto boas exposições de rocha ocorrem na porção noroeste do *sill*, em pedreira para extração de paralelepípedos. A pedreira possui forma oval com duas bancadas com cerca de 20 m de altura cada, caracterizando espessura aflorante do corpo intrusivo da ordem de 40 m (Fotografia 4). A composição da rocha é bastante homogênea ao longo de toda pedreira, porém ocorrem pequenas variações com porções gabróicas associadas (Fotografia 5).



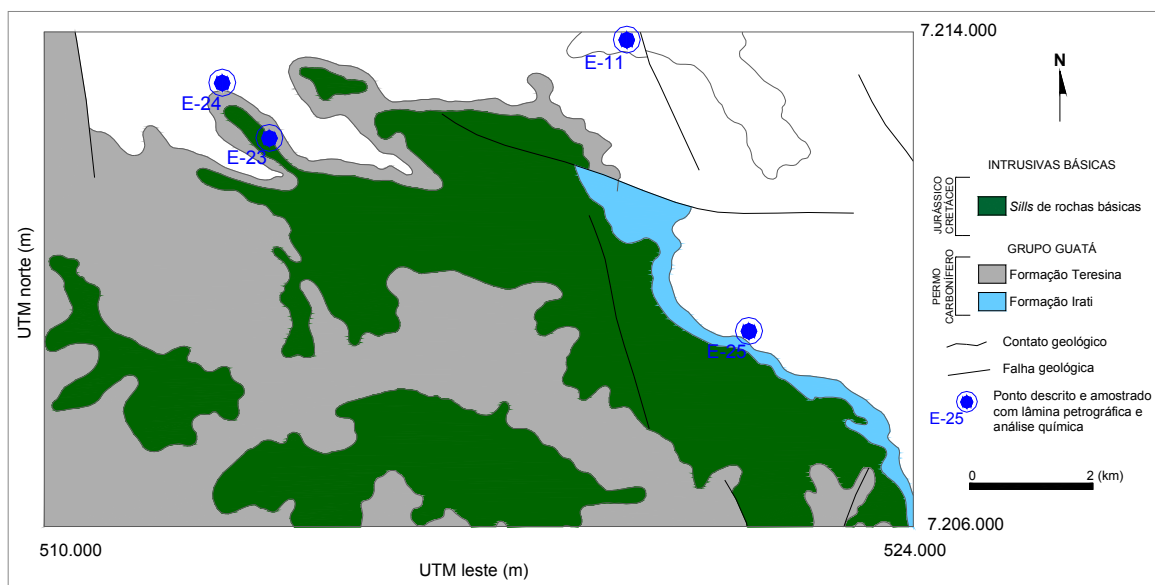


Figura 14 – Mapa geológico da região do *sill* de Prudentópolis com localização dos principais afloramentos (Mineropar, 1983)



Fotografia 4 – Pedreira em atividade, descrita na porção noroeste da área do *sill* de Prudentópolis (Ponto E-23)



Fotografia 5 – Variação textural observada no *sill* de Prudentópolis em Pedreira (Ponto E-25)

Na região existem ainda saibreiras desativadas (pontos E-24 e E-25), caracterizadas pelo afloramento preferencial de siltitos e folhelhos (Fotografia 6). Estratos centimétricos de siltito intercalam-se com estratos, também centimétricos, de folhelho. O siltito exibe cor castanha, compondo-se preferencialmente por quartzo. Possui granulação pronunciada em relação ao folhelho. Este apresenta cor cinza escura e composição argilosa, com laminação plano-paralela marcante.



Fotografia 6 – Afloramento de siltito descrito no ponto E-24, localizado na porção noroeste do *sill* de Prudentópolis

#### 4.3 SILL DE IRATI

O *sill* de Irati aflora a norte da cidade de Irati, sendo delimitado pelas coordenadas 7.206.446 e 7.179.784 m N e 521.612 e 540.589 m E. Mantém contato inferior com os folhelhos e argilitos da Formação Irati, aflorantes principalmente na porção leste da área estudada. O contato superior é feito com siltitos e folhelhos da Formação Serra Alta, aflorantes na porção oeste (Figura 15).

Os principais afloramentos descritos correspondem a pedreiras e saibreiras desativadas. As pedreiras utilizadas para exploração do basalto indicam espessuras variáveis do *sill*, atingindo até 50 m de espessura em escala de afloramento.

Nas pedreiras, verifica-se boa variação textural do *sill*, caracterizada por basaltos e microgabros. O basalto apresenta textura afanítica e compõe-se por plagioclásio, piroxênio e vidro vulcânico, além de amígdalas milimétricas preenchidas por carbonato. O microgabro apresenta granulação média e difere-se do basalto pela ausência das amígdalas. Fraturas são comuns, freqüentemente preenchidas por carbonato e sulfetos.



Nas saibreiras são descritos folhelhos cinza escuros, fortemente laminados de composição argilosa. Nódulos de carbonato e sulfetos ocorrem dispostos entre os planos do acamamento. Os nódulos de carbonato são arredondados, centimétricos a decimétricos e freqüentes; os de sulfeto são subordinados em tamanho e freqüência.

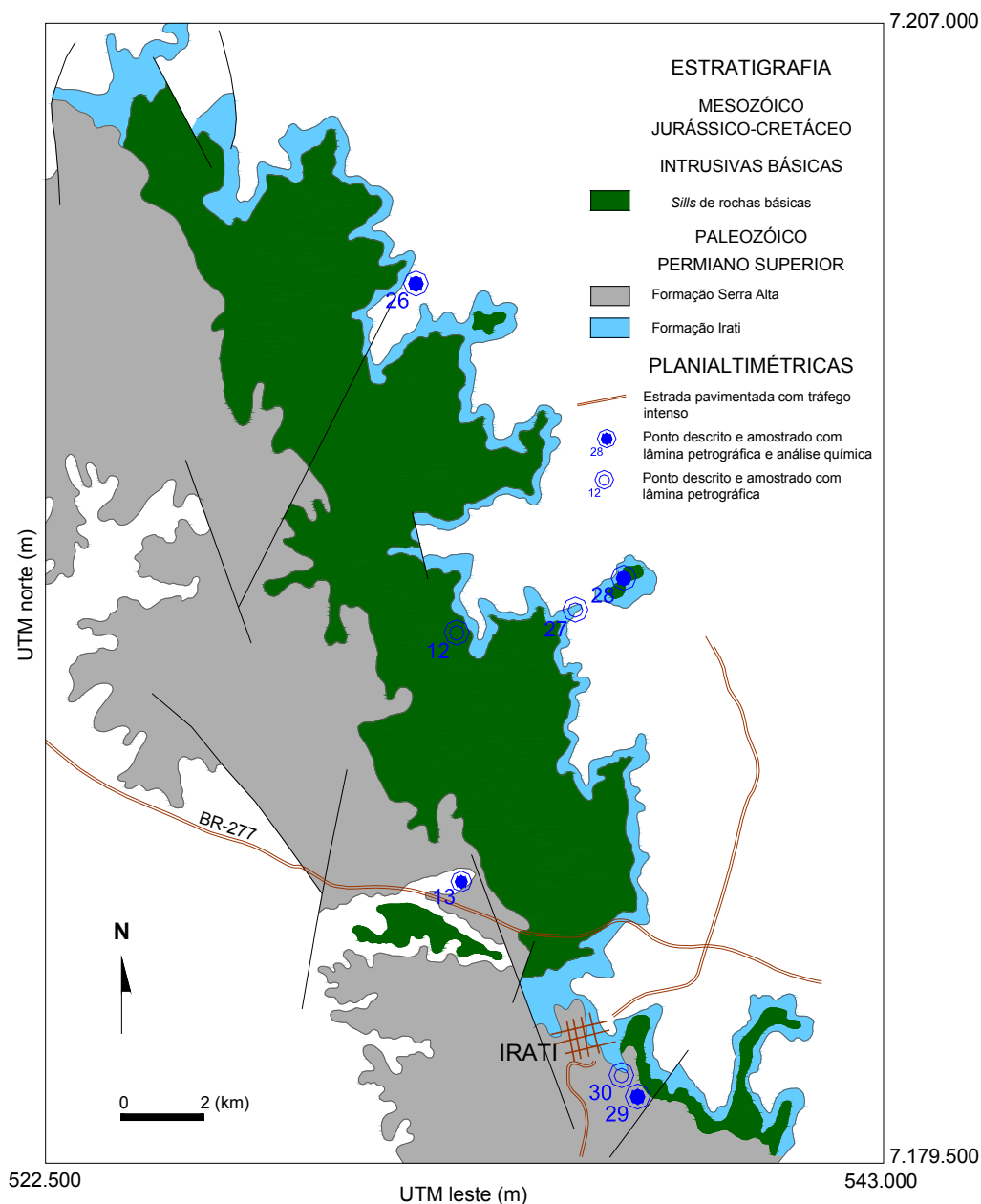


Figura 15 – Mapa geológico da região do sill de Irati com localização dos afloramentos descritos (MINEROPAR, 1983)



#### 4.4 SILL DE REBOUÇAS

O *sill* de Rebouças localiza-se ao sul de Irati e ao norte de Rebouças, limitado pelas coordenadas 7.179.595 e 7.162.969 m N e 535.334 e 550.172 m E.

As melhores exposições do *sill* ocorrem em pedreiras. O principal afloramento descrito ocorre ao sul do município de Irati, na Pedreira Boscardim. A pedreira apresenta forma circular, sendo composta por três bancadas. A bancada inferior caracteriza-se pela exposição de folhelho. Acima, aflora o basalto e, em seguida, volta a aflorar o folhelho (Fotografia 7). Os folhelhos apresentam composição argilosa, são cinza escuros e fortemente laminados com granodecrescência ascendente. Verificam-se auréolas de contato formadas por rocha coesa de composição quartzosa, sem estrutura sedimentar preservada.

Outro afloramento importante ocorre a sudoeste do município de Rebouças em pedreira desativada, transformada em área de lazer denominada “Parque da Pedreira” (Fotografia 8). Possui forma circular com aproximadamente 30 m de altura em uma única bancada. Dentro do Parque aflora o rio Cachoeira, cujo leito é uma laje constituída por basalto e microgabro. As cachoeiras observadas apresentam aproximadamente 50 metros de queda livre, indicando a espessura do *sill*. Na pedreira observam-se disjunções colunares verticais, também evidentes na cachoeira.

Os demais afloramentos descritos na região ocorrem no leito de drenagens e em saibreiras desativadas. As saibreiras caracterizam-se apenas pelo afloramento de siltitos e folhelhos.



Fotografia 7 – Afloramento de folhelhos descritos na Pedreira Boscardim



Fotografia 8 – Afloramento do *sill* de Rebouças em Pedreira desativada (Parque da Pedreira), localizado a sudoeste do município de Rebouças

#### 4.5 SILL DE PONTA GROSSA

No município de Ponta Grossa ocorrem dois pequenos corpos intrusivos. O primeiro está localizado dentro do próprio município, no bairro denominado Vila Cipa (Figura 16). O segundo localiza-se ao norte da cidade, a aproximadamente 20 km. Os corpos são limitados pelas coordenadas 7.220.168 e 7.231.931 m N e 570.867 e 585.853 m E. Estratigraficamente, ocorrem encaixados em siltitos e folhelhos da Formação Ponta Grossa.

As melhores exposições do *sill* localizado no bairro Vila Cipa podem ser observadas na Pedreira Moro (desativada). A pedreira possui forma oval e é composta por três bancadas, onde cada uma possui, em média, 10 metros de altura (Fotografia 9). O perfil vertical é caracterizado por importantes variações texturais e granulométricas, onde foram descritos microgabros e gabros. Os microgabros predominam sobre os gabros, estes ocorrem principalmente em disjunções colunares descritas no platô intermediário.

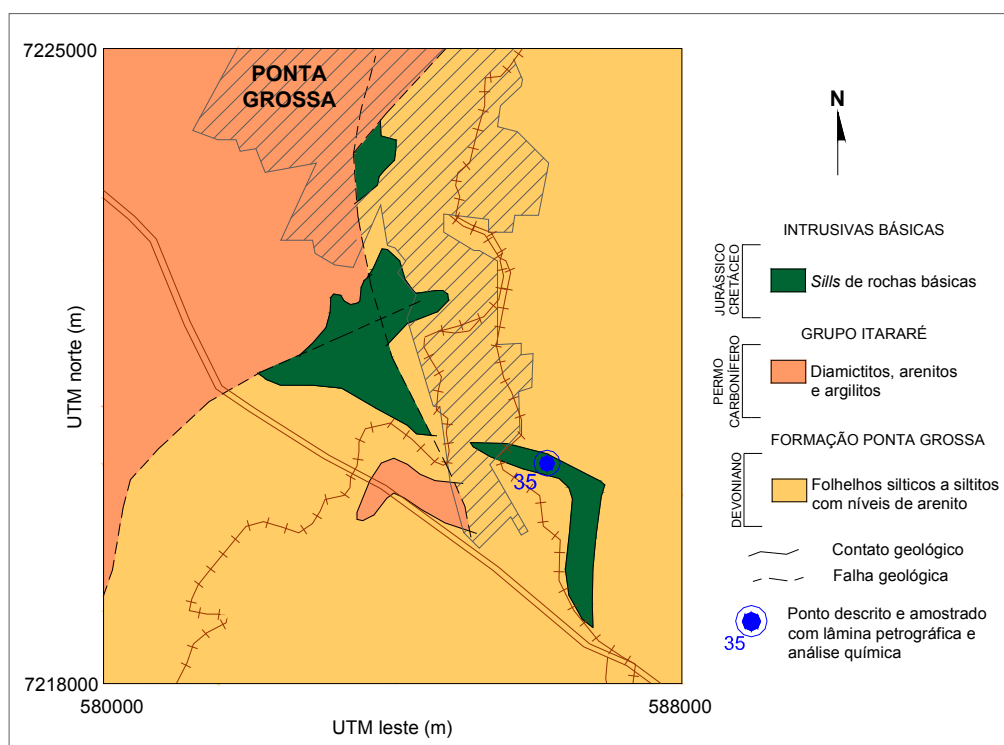


Figura 16 – Mapa geológico do *sill* de Ponta Grossa localizado no Bairro Vila Cipa, com localização do afloramento descrito e amostrado (CPRM, 1977)





Fotografia 9 – Afloramento de microgabro em Pedreira desativada, *sill* de Ponta Grossa

As exposições do *sill* localizado a norte do município de Ponta Grossa podem ser verificadas na Pedreira Moro (em atividade). A pedreira possui forma circular e é composta por uma bancada principal e uma secundária, cujas atividades de exploração estão se iniciando. A bancada principal possui aproximadamente 30 metros de altura e na porção superior é possível reconhecer o contato do *sill* com os siltitos da Formação Ponta Grossa (Fotografias 10 e 11). O afloramento é bastante homogêneo, com predomínio de microgabros. No contato com os siltitos são verificadas variações texturais na rocha intrusiva, que passa a apresentar granulação mais fina. Ainda no contato são descritas feições de assimilação, onde o microgabro envolve porções quartzosas do siltito.



Fotografia 10 – Vista geral da Pedreira Moro (em atividade)



Fotografia 11 – Afloramento do *sill* em contato com a Formação Ponta Grossa situado dentro da Pedreira Moro (em atividade)

## 5 QUÍMICA MINERAL

A composição química e variações de cada fase mineral que compõe as rochas vulcânicas básicas e intermediárias dos *sills* estudados são aqui apresentadas e discutidas.

Os minerais estudados foram predominantemente plagioclásios e piroxênios e, subordinadamente, minerais opacos (magnetita e ilmenita), clorita, anfibólios, biotita e olivina. As composições foram determinadas em núcleo e borda de fenocristais e microfenocristais e em cristais da matriz.

### 5.1 PLAGIOCLÁSIOS

Foram analisados 51 fenocristais, microfenocristais e cristais da matriz, totalizando 79 pontos, em 19 amostras (Anexo IV). A fórmula estrutural com base em 32 oxigênios foi calculada pelo próprio *software* que realizou as análises de química mineral. Para a classificação foi utilizado o diagrama Or-Ab-An (Deer *et al.*, 2003), em que o extremo Or (ortoclásio) corresponde a 100% do componente potássico, An (anortita) corresponde a 100% do componente cálcico e Ab (albita) corresponde a 100% do componente sódico.

O plagioclásio representa a fase mineral mais abundante nos basaltos e gabros que compõem os *sills* estudados, perfazendo aproximadamente 60% da composição modal das rochas analisadas. Ocorrem em fenocristais, microfenocristais e cristais na matriz (Figura 17). Os fenocristais e microfenocristais são prismáticos, subédricos a euédricos, submilimétricos a milimétricos (0,2 a 5 mm). Na matriz o plagioclásio ocorre como cristais ripiformes subédricos a euédricos, submilimétricos; em esferulitos e em intercrescimento granofírico e mirmequítico.

Em geral, os plagioclásios não apresentam alteração, mostram bordas retas e nítidas no contato com piroxênios e com os óxidos. Entretanto, em rochas com maior indício de alteração deutérica ocorrem argilominerais.



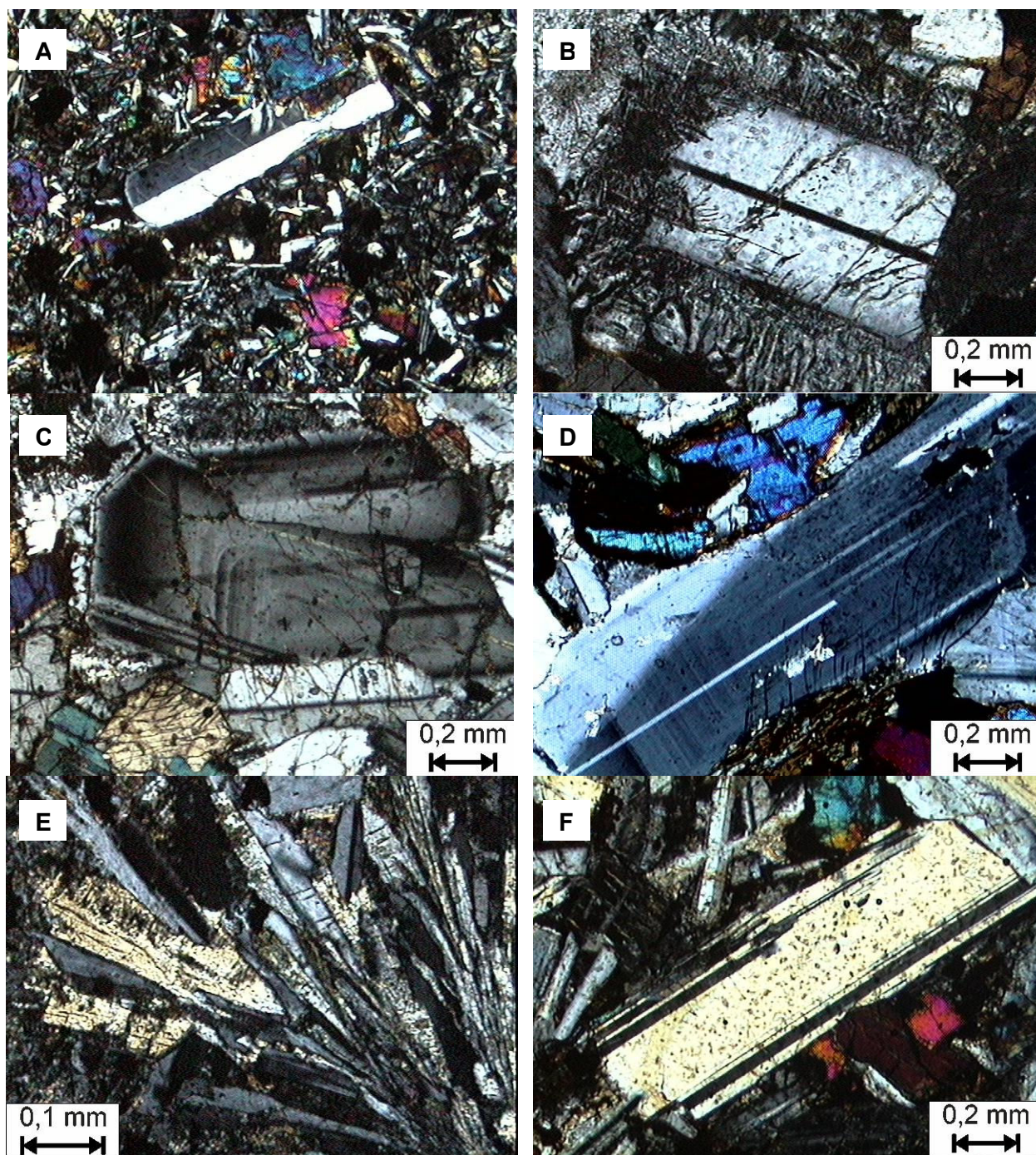


Figura 17 – Fotomicrografias em luz polarizada de plagioclásios dos *sills* estudados, apresentando as principais variações texturais observadas. (A) Basalto com fenocristal de plagioclásio disposto em matriz fina, composta por plagioclásio, piroxênio e minerais opacos; (B) Fenocristal de plagioclásio em microgabro com intercrescimento mirmequitico nas bordas; (C) e (D) Fenocristal de plagioclásio com zoneamento composicional em amostra de microgabro; (E) Cristais de plagioclásios fibro-radiados configurando textura esferulítica; (F) Microgabro exibindo fenocristal de plagioclásio

A composição varia de  $An_{75}Ab_{24}Or_1$  a  $An_{26}Ab_{69}Or_5$ , com pouca variação entre os *sills* estudados (Tabela 6, Figuras 18 e 19). O *sill* de Reserva apresenta a menor concentração de An (componente anortita), 44,97% em média, onde a composição dos plagioclásios varia de  $An_{55}Ab_{43}Or_2$  a  $An_{26}Ab_{69}Or_5$ , oscilando de labradorita a oligoclásio. Nos *sills* de Prudentópolis e Irati os plagioclásios variam de labradorita a andesina ( $An_{61}Ab_{36}Or_3$  a  $An_{40}Ab_{56}Or_4$  e  $An_{59}Ab_{39}Or_3$  a  $An_{35}Ab_{61}Or_4$ , respectivamente), com média aproximada de 52,0% no componente anortita.

Os *sills* de Rebouças e Ponta Grossa apresentam os conteúdos mais elevados de anortita (média de 59,21 e 57,31%, respectivamente). No primeiro, a composição dos plagioclásios varia de bitownita a andesina ( $An_{75}Ab_{24}Or_1$  a  $An_{41}Ab_{54}Or_3$ ); no segundo, de labradorita a andesina ( $An_{64}Ab_{35}Or_1$  a  $An_{46}Ab_{56}Or_2$ ).

Em todos os *sills* estudados, o componente Or (ortoclásio) é sempre inferior a 5%. Feldspatos alcalinos são raros e descritos apenas no *sill* de Reserva, cuja composição situa-se no campo da sanidina.

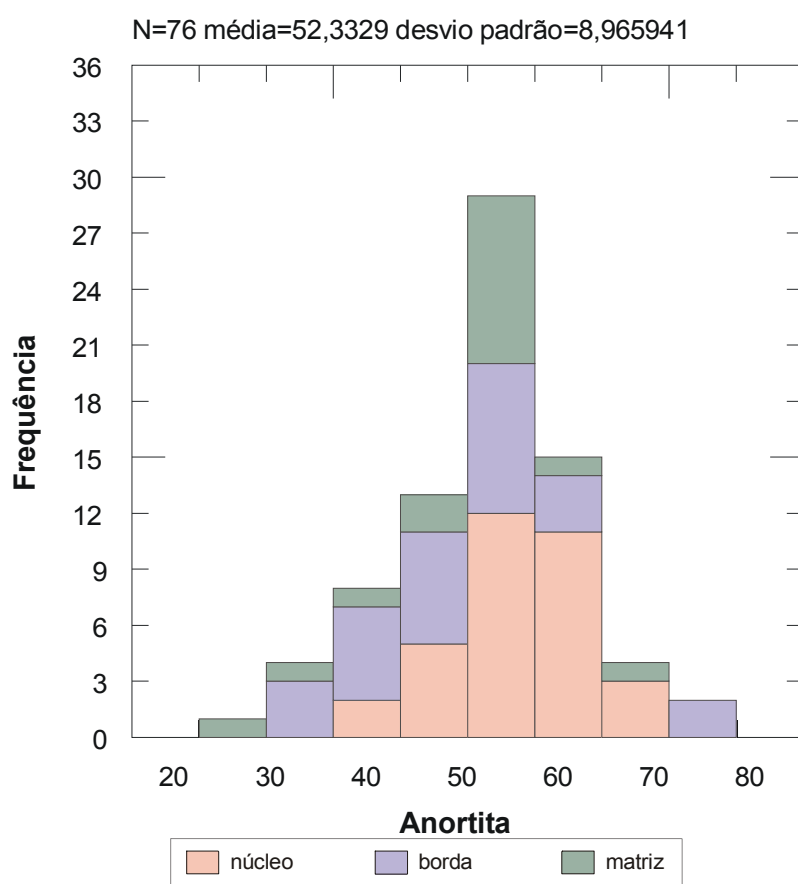
Quando comparados núcleos e bordas dos fenocristais/microfenocristais, constata-se que o conteúdo de anortita no núcleo varia entre 38,4 e 69,9%, com média de 54,65 e desvio padrão de 6,845. Nas bordas, verifica-se uma variação entre 35,0 a 75,1% com média de 50,33 e desvio padrão de 9,857, indicando um decréscimo médio de An na ordem de 4% dos núcleos para as bordas.

Os fenocristais e microfenocristais de plagioclásios são caracterizados também pelo zoneamento composicional (vide Figuras 17C e 17D), onde ocorre empobrecimento em An (componente anortita) e enriquecimento em Ab (componente albita) do núcleo para as bordas dos cristais (Figura 20). O enriquecimento em Ab também pode ser constatado a partir dos diagramas de variação (Figura 21), onde se verifica um decréscimo de CaO e enriquecimento de  $Na_2O$  com a evolução da diferenciação.



Tabela 6 – Variação composicional dos plagioclásios nos *sills* estudados

<i>SILLS</i>		RESERVA	PRUDENTÓPOLIS	IRATI	REBOUÇAS	PONTA GROSSA
<b>Anortita</b>	média	44,97	52,17	51,88	59,21	57,31
	máximo	52,90	61,40	59,40	75,10	64,00
	mínimo	26,00	40,40	35,40	41,50	46,10
<b>Albita</b>	média	52,22	45,06	45,91	39,09	40,99
	máximo	69,30	52,20	61,00	54,30	51,50
	mínimo	43,50	36,30	39,00	24,50	34,70
<b>Ortoclásio</b>	média	2,80	2,76	2,23	1,70	1,69
	máximo	4,70	3,80	3,60	4,20	2,40
	mínimo	1,60	1,70	1,70	0,50	1,40

Figura 18 – Histograma de frequência das concentrações de anortita nos plagioclásios dos *sills* estudados

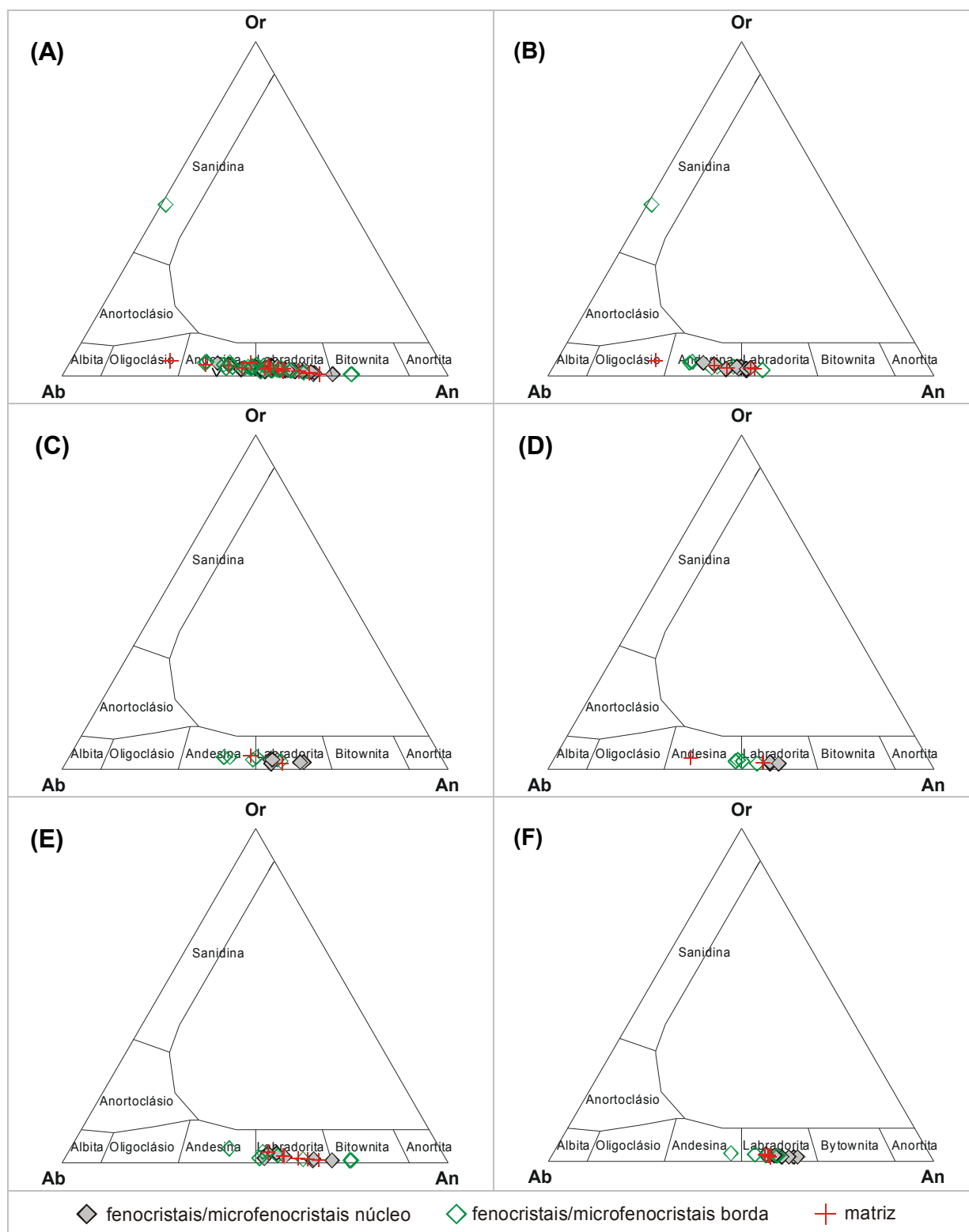


Figura 19 – Variação composicional dos plagioclásios nos *sills* estudados. (A) Diagrama ternário (Or-Ab-An) de Deer *et al.* (2003) para feldspatos com a variação composicional de núcleo e borda dos fenocristais/microfenocristais e matriz nos basaltos e microgabros de todos *sills* estudados; (B) *sill* de Reserva; (C) *sill* de Prudentópolis; (D) *sill* de Irati; (E) *sill* de Rebouças e (F) *sill* de Ponta Grossa

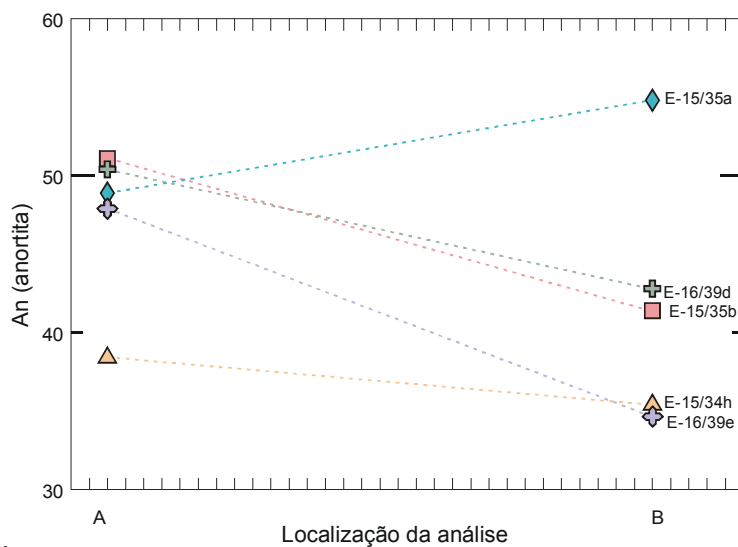


Figura 20 – Variação no componente An (anortita) nos fenocristais e microfenocristais de plagioclásio. Os pontos A e B são locais de análise por microsonda eletrônica e representam núcleo e borda, respectivamente. A notação ao lado do símbolo indica o número da amostra

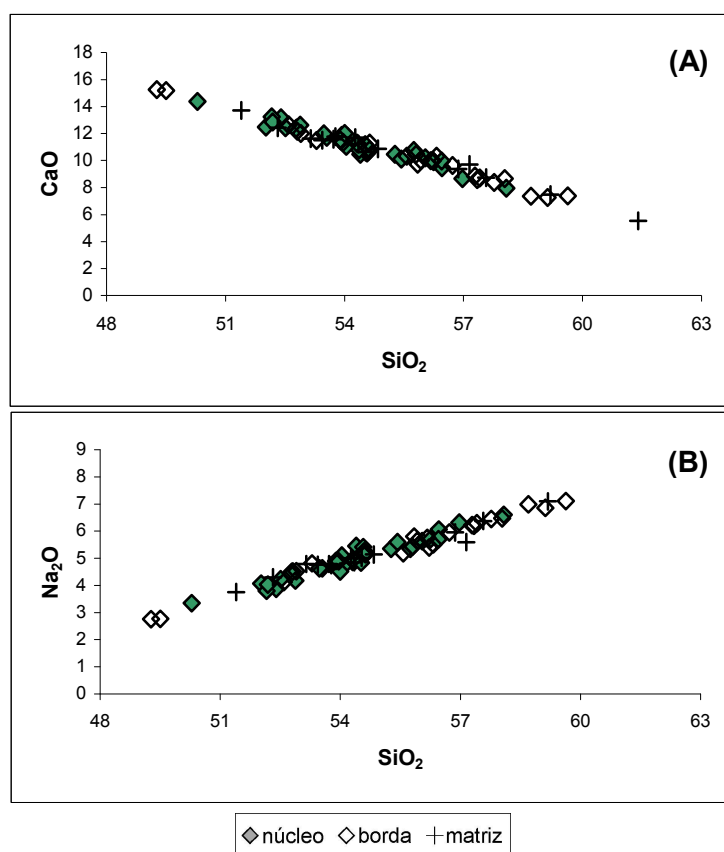


Figura 21 – Diagramas de variação para os óxidos de cálcio (A) e sódio (B) vs. sílica, mostrando zoneamento dos fenocristais com núcleos relativamente mais cálcicos e bordas, cristalizadas mais tarde, comparativamente enriquecidas em sódio

As análises químicas dos plagioclásios foram projetadas em diagramas binários, tendo o componente An (anortita) na abscissa e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  na ordenada (Figura 22).  $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{t})}$  e  $\text{MgO}$  mostram dispersão moderada e correlações negativas, enquanto  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  apresentam *trends* lineares marcantes com correlações positivas com a evolução da diferenciação.

Segundo Schiffman e Lofgren (1981 *in* Gomes, 1996) Fe, Mg e K são elementos sensíveis à composição do líquido e ao grau de fracionamento e, geralmente, são enriquecidos nas bordas dos cristais se houver um aumento da concentração destes no líquido durante a diferenciação. Desta forma, em altas taxas de resfriamento, estes elementos concentrados na interface cristal/líquido, são incorporados na estrutura do plagioclásio devido ao alto crescimento e baixa difusão associados ao resfriamento. Esta observação está de acordo com o aumento de  $\text{K}_2\text{O}$  nas bordas dos cristais conforme pode ser observado na figura 22D. O decréscimo de  $\text{MgO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sugere que estes elementos não foram incorporados na estrutura do plagioclásio.

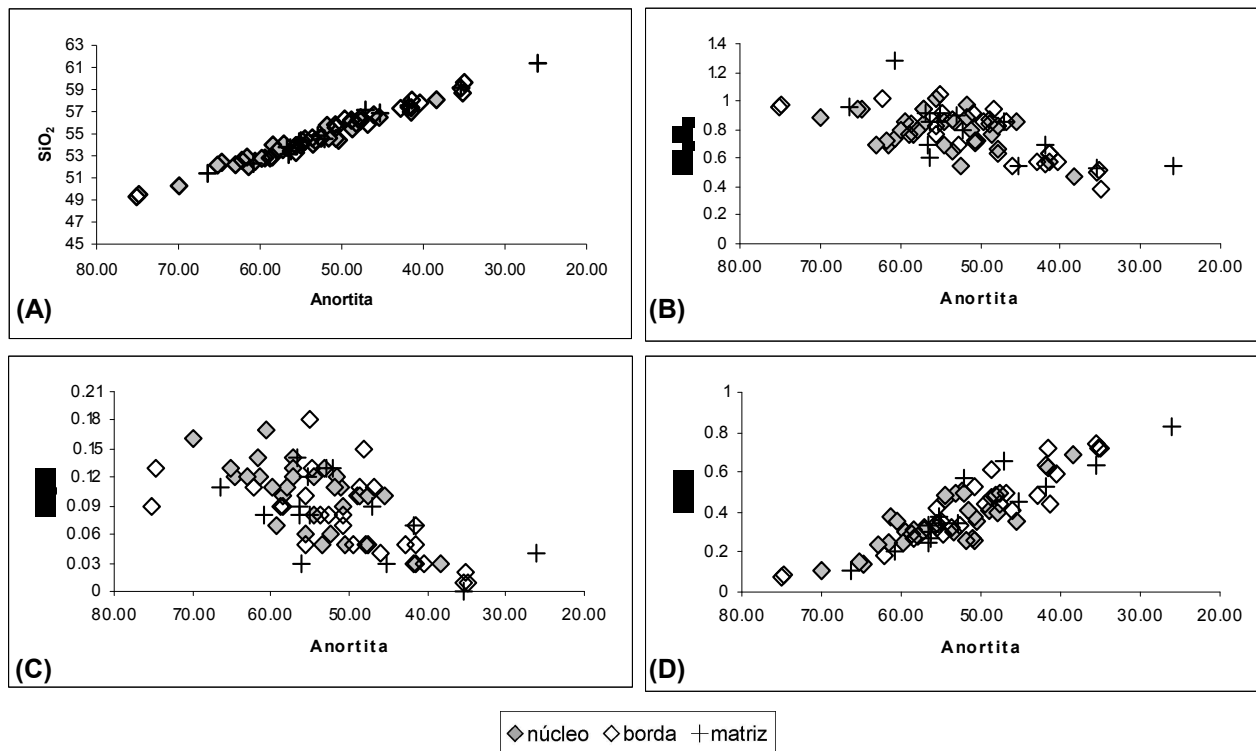


Figura 22 – Diagramas de variação para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{K}_2\text{O}$  tendo o componente An (anortita) como índice de diferenciação

## 5.2 PIROXÊNIO

Um total de 65 análises foi adquirida em 42 fenocristais, microfenocristais e matriz, a partir de 18 amostras (Anexo V). A fórmula estrutural foi calculada com base em 6 oxigênios a partir do próprio *software* que realizou os ensaios de química mineral.

Os clinopiroxênios são comuns nos basaltos e microgabros dos *sills* estudados, perfazendo em média, 35% da composição modal das rochas. Ocorrem como fenocristais ou microfenocristais, prismáticos, normalmente anédricos a subédricos, subarredondados, submilimétricos a milimétricos (0,1 – 4,0mm). Quando comparados aos fenocristais de plagioclásio, são menores e menos abundantes. Os cristais da matriz são granulares e arredondados, submilimétricos, frequentemente intersticiais ao plagioclásio (Figura 23).

Os clinopiroxênios são classificados como piroxênios cálcicos de acordo com o diagrama Quad ( $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ ) – J (2Na) de Morimoto (1988), apresentado na figura 24. Com base nesta primeira separação, os clinopiroxênios do campo Quad foram projetados no diagrama Wo-En-Fs (Wollastonita – Enstatita – Ferrossilita) de Morimoto (1988) (Figura 25). Os piroxênios são predominantemente augita, com raros cristais de pigeonita. A pigeonita é frequente apenas no *sill* de Ponta Grossa. O conteúdo de wollastonita (Wo) varia entre 24 e 41 nas augitas e entre 8,6 a 11,15 nas pigeonitas. Em geral, os piroxênios apresentam composição muito similar, com pouca variação, como pode ser observado nas porcentagens de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$ , constantes em quase todas as amostras analisadas (Figura 26).

O zoneamento composicional nos piroxênios é incomum, entretanto alguns cristais exibem aumento em Na e decréscimo do conteúdo de  $\text{MgO}$  do núcleo às bordas.

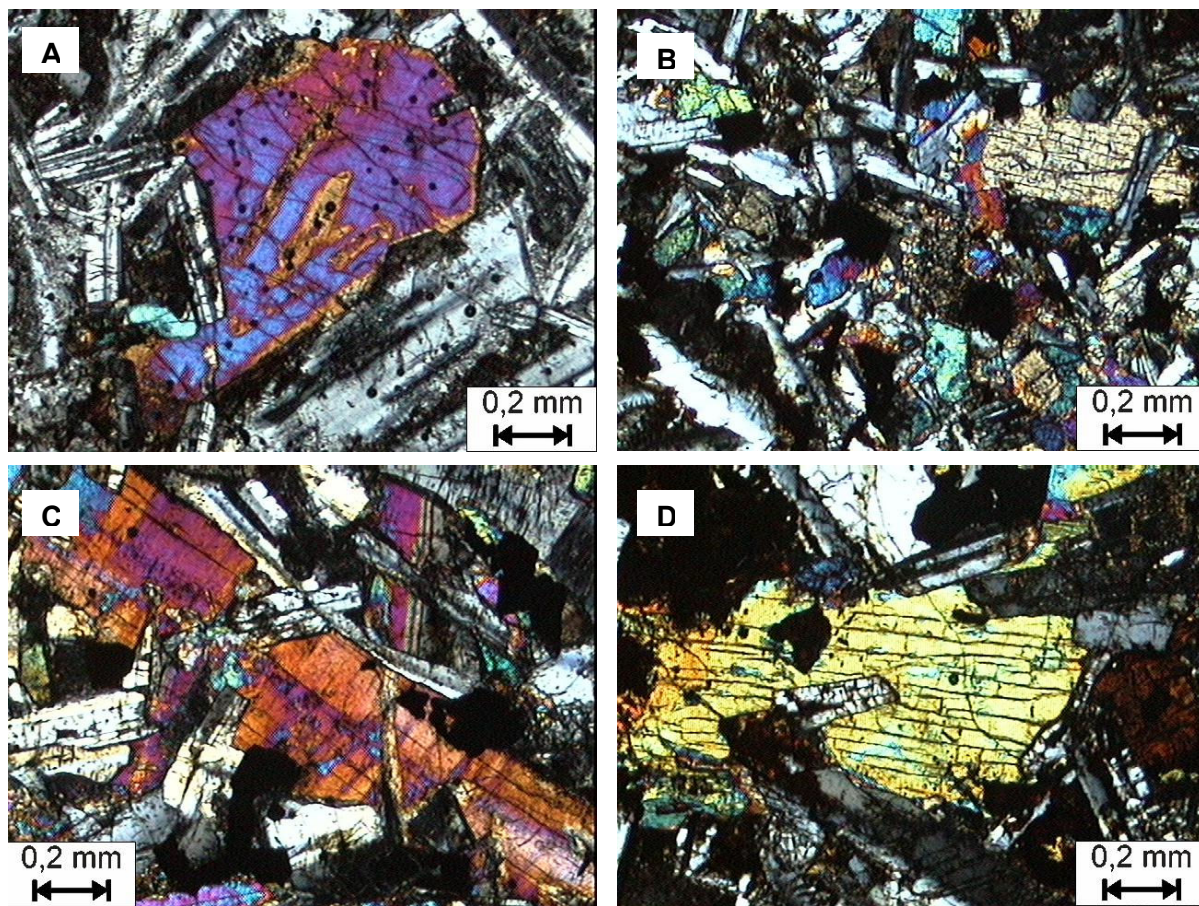


Figura 23 – Fotomicrografias em luz polarizada de piroxênios dos basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) Fenocristal de piroxênio disposto em matriz fina, caracterizando textura ofítica em microgabro; (B) Cristais de piroxênio arredondados e intersticiais aos cristais de labradorita, caracterizando textura intergranular em amostra de basalto; (C) e (D) Fenocristais de piroxênio em amostra de microgabro

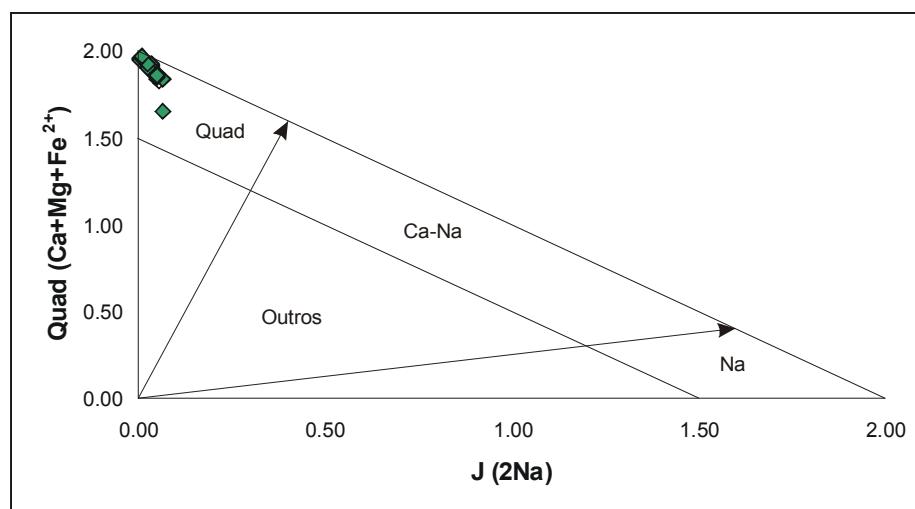


Figura 24– Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe<sup>2+</sup>) – J (2Na) de Morimoto (1988) para clinopiroxênios das rochas investigadas

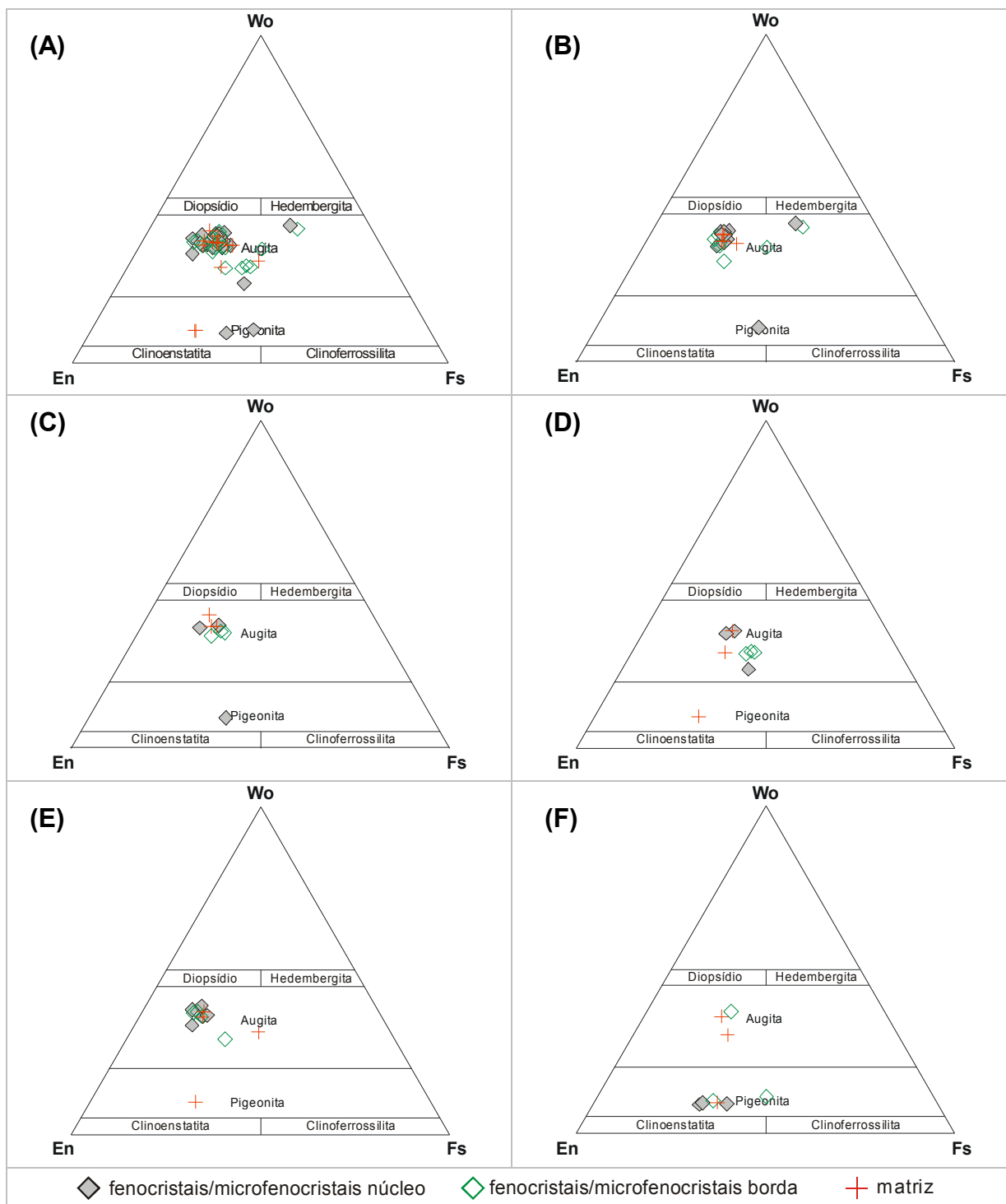


Figura 25 – Variação composicional dos clinopiroxênios para os *sills* estudados. (A) Diagrama ternário (En – Fs – Wo) de Morimoto (1988) para clinopiroxênios apresentando a variação composicional de borda e núcleo dos fenocrists/microfenocrists e matriz nos basaltos e microgabros de todos *sills* estudados; (B) *sill* de Reserva; (C) *sill* de Prudentópolis; (D) *sill* de Irati; (E) *sill* de Rebouças e (F) *sill* de Ponta Grossa

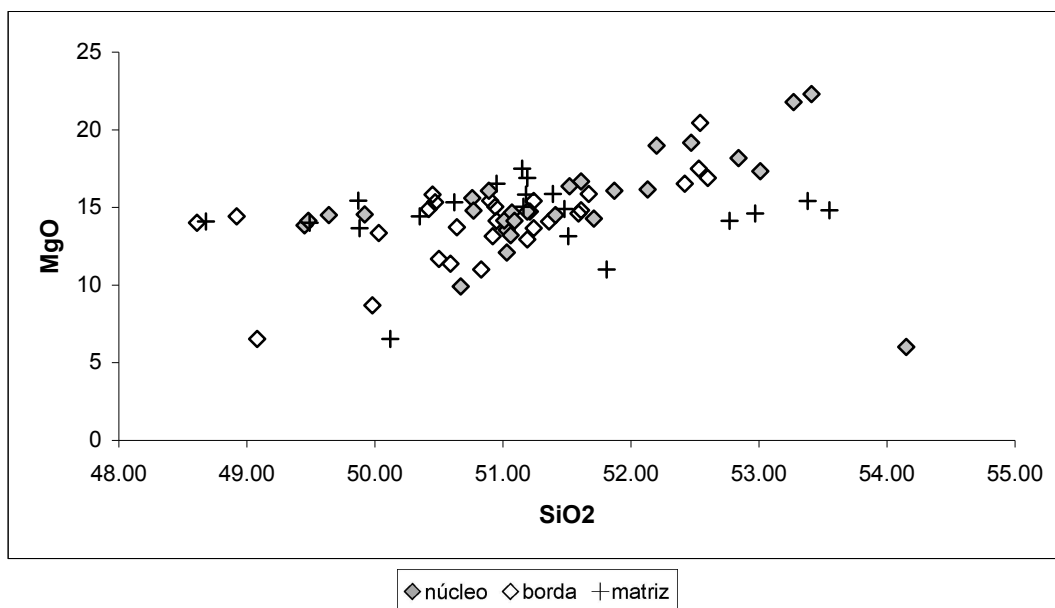


Figura 26 – Diagrama de variação  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{MgO}$  para borda e núcleo dos fenocristais/microfenocristais e cristais da matriz para os clinopiroxênios analisados

Quando projetados em diagramas binários  $\text{MgO}$  vs.  $\text{CaO}$  verifica-se pouca variação composicional entre os piroxênios investigados. Entretanto, constata-se a presença de duas populações de augita, uma rica em  $\text{CaO}$  (16,32 a 19,21%) e outra com concentração de  $\text{CaO}$  mais baixa (11,56 a 14,72%) (Figura 27A). A população de augita pobre em  $\text{CaO}$  predomina nas bordas de fenocristais/microfenocristais e em cristais da matriz. Verificou-se apenas uma amostra de núcleo de fenocristal inserida na população pobre em  $\text{CaO}$ . A população de augita pobre em  $\text{CaO}$  predomina no *sill* de Irati.

Na figura 27B tem-se a projeção da pigeonita em diagrama  $\text{MgO}$  vs.  $\text{CaO}$ , onde verifica-se um *trend* linear com correlação negativa, indicando decréscimo destes elementos com a evolução da diferenciação.



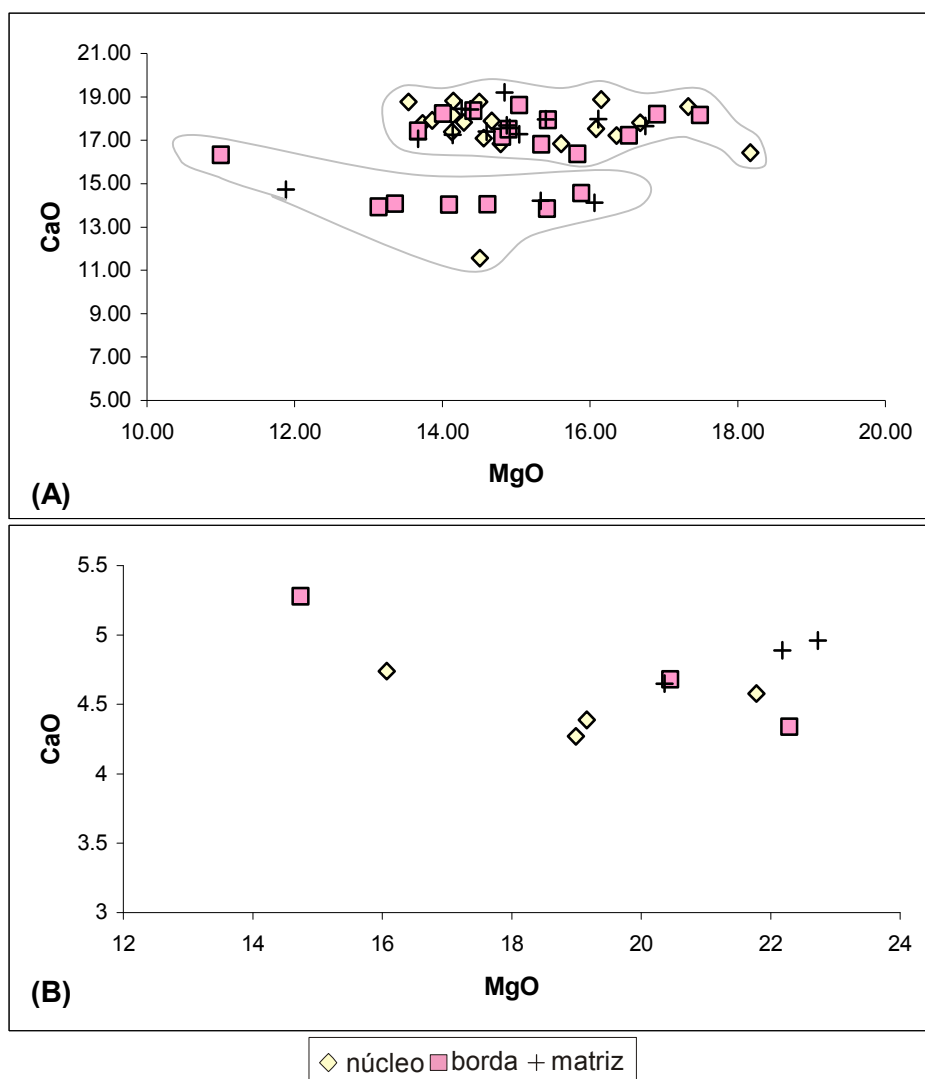


Figura 27 – Diagrama de variação MgO vs. CaO para borda e núcleo dos fenocristais/microfenocristais e cristais da matriz para augita (A) e pigeonita (B) dos basaltos e microgabros dos *sills* estudados

### 5.3 OLIVINA

A olivina foi descrita em apenas uma amostra (15/34) do *sill* de Reserva (Anexo VI). Ocorre em microfenocristais anédricos, arredondados e submilimétricos, com concentração inferior a 5% (Figura 28). Foi classificada como faialita com FeO entre 62,60 e 62,92%. O conteúdo de CaO encontra-se no intervalo de 0,28 a 0,32% e o MnO apresenta concentrações da ordem de 1,07 a 1,20%.

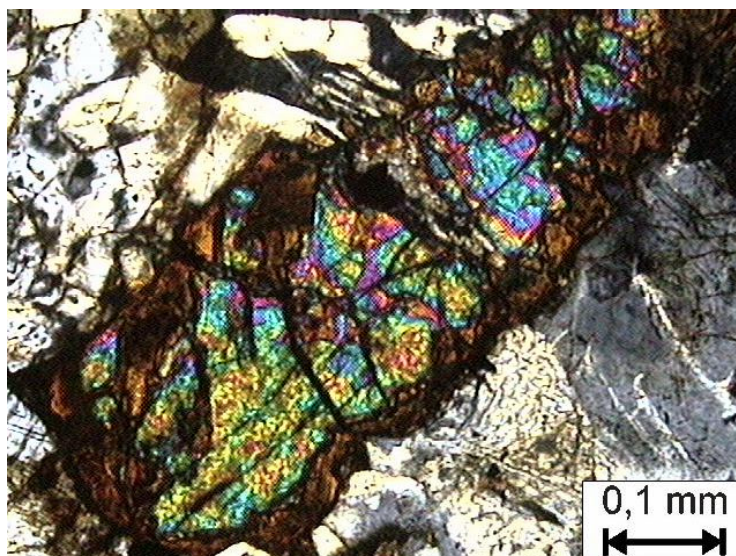


Figura 28 – Fotomicrografia em luz polarizada de olivina descrita em amostra de microgabro do *sill* de Reserva

#### 5.4 ÓXIDOS

Os óxidos limitam-se às fases pertencentes ao sistema  $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ . Foram obtidas 19 análises em 14 amostras (Anexo VII). São cristais tabulares ou aciculares, submilimétricos a milimétricos, com zoneamento composicional visual ausente, compreendendo entre 5 e 20% da composição modal das rochas estudadas. Os minerais opacos constituem uma fase máfica comum nos basaltos e ocorrem em todos *sills* estudados (Figura 29)

Em todas as rochas analisadas os minerais opacos são preferencialmente Ti-magnetita ( $\text{TiO}_2$  entre 10,83% a 37,35%), ilmenita e pirita. O conteúdo de MnO é baixo (0,32 – 1,32%), bem como de MgO, que apresenta concentrações no intervalo de 0,05 a 1,33%.

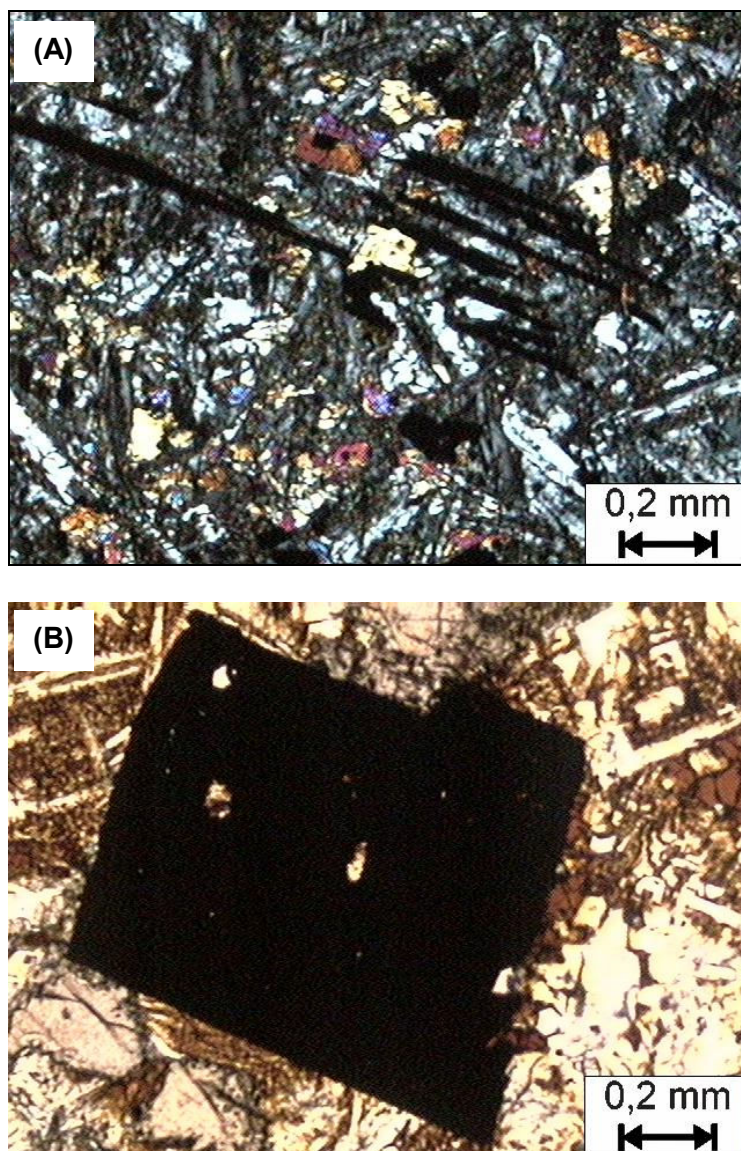


Figura 29 – Fotomicrografias de minerais opacos descritos em basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) Cristais ripiformes de ilmenita em amostra de basalto (luz polarizada) e (B) Fenocristal euédrico de magnetita em amostra de microgabro (luz plana polarizada)

## 5.5 ANFIBÓLIOS

Anfibólios são raros e ocorrem apenas em porcentagem subordinada. São cristais prismáticos, anédricos a subédricos, inequigranulares (Figura 30). Foram obtidas 9 análises (Anexo VIII) de anfibólios, classificados segundo Leake (1978) como cálcicos, com composição variando de ferro-edenita a edenita nos *sills* de Prudentópolis, Reserva, Rebouças e Irati (Figura 31A), e de actinolita hornblenda a

magnésio hornblenda no *sill* de Ponta Grossa (Figura 31B). O conteúdo de cálcio encontra-se no intervalo entre 9,77 e 17,01% e MgO varia entre 6,1 e 14,21%.

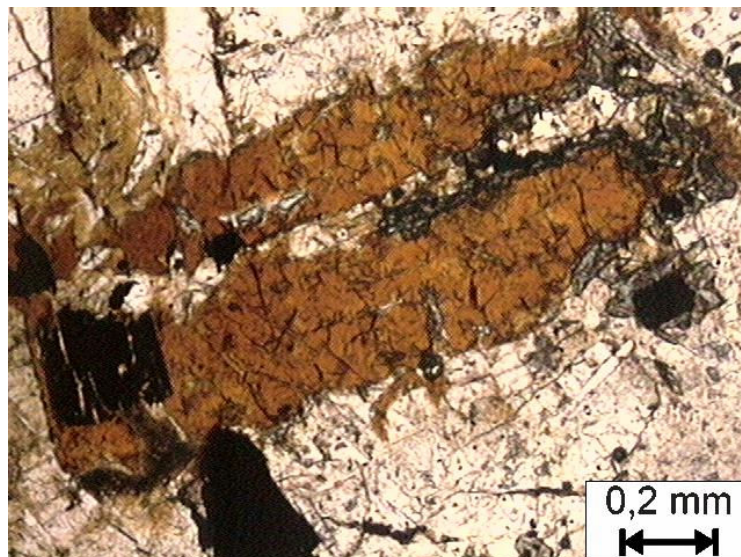


Figura 30 – Fotomicrografia em luz plana polarizada de anfibólio em amostra de microgabro

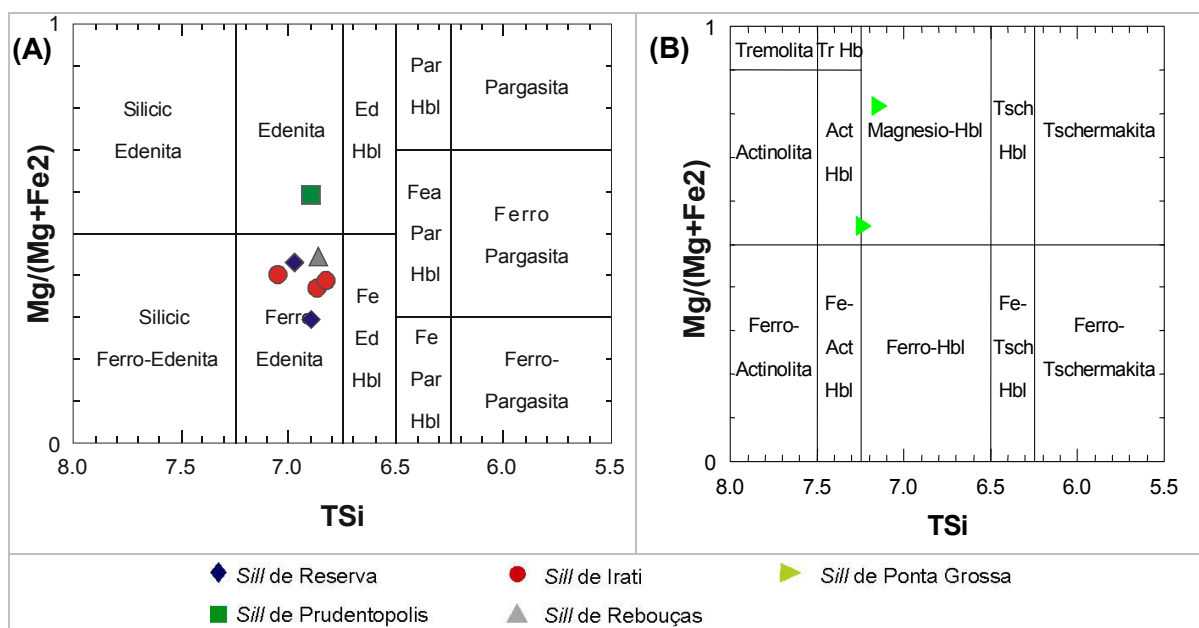


Figura 31 – Variação composicional dos anfibólios de basaltos e microgabros dos *sills* estudados segundo a classificação de Leake (1978). (A) *Sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati e Rebouças e (B) *Sill* de Ponta Grossa. Todas as análises correspondem a cristais da matriz



## 6 MODELAGEM GEOQUÍMICA

Diversos processos têm sido propostos como responsáveis pela diferenciação de magmas, destacando-se a cristalização fracionada, fusão parcial, mistura de magmas e cristalização com assimilação (Cox *et al.*, 1979; Rollison, 1993). A atuação do processo magmático pode ser avaliada mediante diagramas binários de variação de elementos, ou razões de elementos que geram *trends* com configurações específicas que representam um determinado mecanismo de diferenciação. O processo magmático também pode ser identificado por meio de soluções matemáticas pelo cálculo de balanço de massa.

O comportamento dos elementos químicos durante os processos de diferenciação magmática é indicado por variações nas suas concentrações, acompanhando os diferentes estágios de cristalização fracionada das fases minerais. As variações do FeO e MgO estão associadas principalmente à cristalização de óxidos de ferro e silicatos de ferro e magnésio (piroxênios, olivina), enquanto que variações bruscas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO e  $\text{Na}_2\text{O}$  podem refletir uma maior presença de plagioclásio e/ou clinopiroxênio. As variações dos elementos menores e traços durante o processo de diferenciação magmática refletem a capacidade de substituição destes nas estruturas cristalinas das fases minerais que se formam.

Na evolução dos *sills* de Reserva, Prudentópolis, Rebouças, Irati e Ponta Grossa a cristalização fracionada é apontada como principal processo magmático. Foi definida a partir da variação dos teores de  $\text{SiO}_2$  de 48,46 a 58,17%, padrões dos elementos traço e terras raras e *trends* negativos principalmente de CaO e MgO x  $\text{SiO}_2$ , demonstrando a importância do fracionamento do feldspato e piroxênio. Além disso, o caráter fracionante é atestado pelas retas definidas nos diagramas binários de elementos traço vs razão de elementos traço, uma vez que a razão entre dois elementos traço é constante durante a cristalização fracionada de fases minerais.

Diagramas de Ce x La e Lu x Yb representam pares de elementos com coeficientes de distribuição similares, sendo apropriados para testar a cristalização fracionada como processo efetivo. Nos *sills* estudados, as relações desses elementos apresentam pequenas variações em relação à origem (Figura 32), cujas retas, ajustadas a partir de regressão linear, praticamente interceptam a origem, corroborando a cristalização fracionada como principal processo evolutivo.

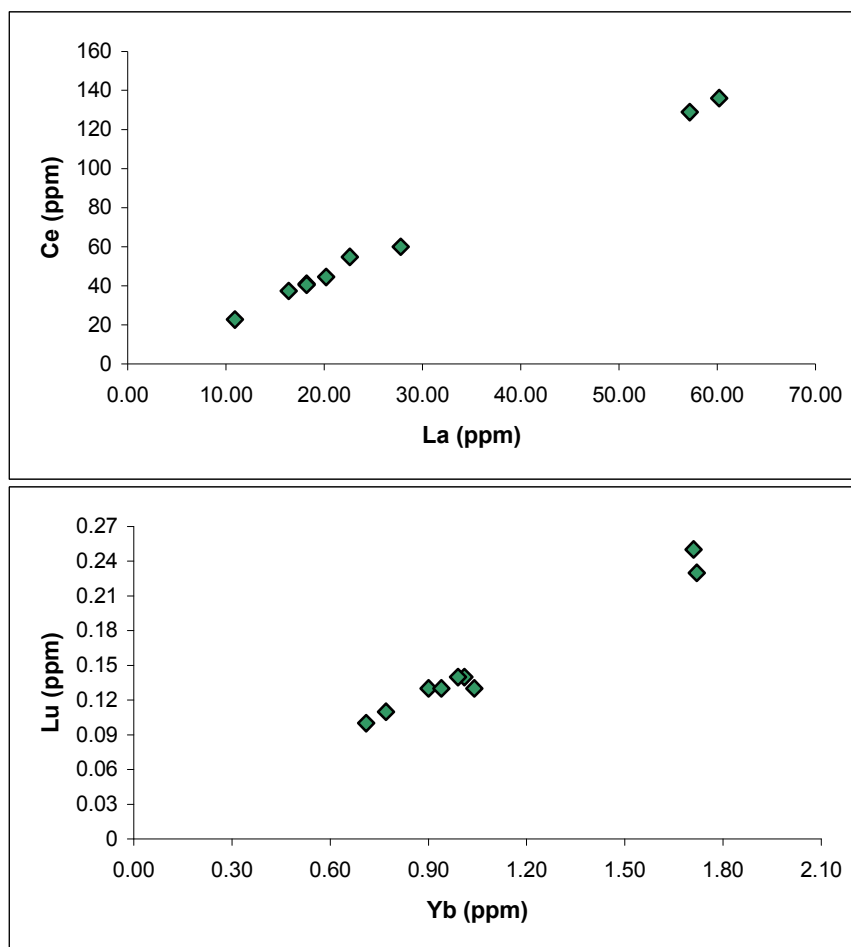


Figura 32 – Diagramas de variação com elementos terras raras

Para testar a viabilidade do processo de cristalização fracionada e estimar o grau de fracionamento magmático que deve ter ocorrido durante a evolução dos *sills* estudados, optou-se pelo modelo de cristalização fracionada simples (Cox *et al.* 1979), considerando que a fração cristalizada de cada unidade se comportou como um sistema fechado. A Lei de Fracionamento de *Rayleigh* (Cox *et al.*, 1979) pode ser utilizada para descrever a variação de um elemento traço em relação à sua concentração no líquido original, dado por:

$$C_i/C_o = F^{(D-1)}$$

Onde:

- F - fração do líquido residual
- D - coeficiente de distribuição total do elemento *i*
- C<sub>i</sub> - concentração do elemento *i* no líquido residual
- C<sub>o</sub> - concentração do elemento *i* no líquido original

O Coeficiente de distribuição total (D) representa o coeficiente proporcional à abundância dos diferentes minerais, pois durante os processos de cristalização poderá ocorrer simultaneamente formação de mais de uma fase cristalina, as quais poderão influenciar na concentração dos elementos nos líquidos/sólidos residuais. O coeficiente de distribuição é expresso por:

$$D = \sum_i^n Kd_i * w$$

Onde:

- Kd<sub>i</sub> - coeficiente de partição do elemento *i* para cada fase mineral
- w - porcentagem em peso de cada fase mineral fracionada

Durante os processos de cristalização os elementos incompatíveis podem tornar-se altamente concentrados nos seus líquidos finais. Alguns elementos, por não possuírem altas concentrações que permitam que sejam essenciais na formação de minerais, são considerados elementos traço, mostrando-se apropriados para o modelamento dos diferentes processos magmáticos.

A modelagem geoquímica foi estabelecida com base na composição das rochas, a partir de elementos maiores e dados de química mineral. A modelagem numérica foi concebida utilizando-se um sistema de equações com os dez óxidos (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Em seguida, testada com base nos elementos traço, de acordo com a equação de *Rayleigh*. Os elementos testados foram Ba, Rb, Nb, Sr, Zr, Y, Cr e Ni, com coeficientes de

partição de Rollinson (1993) e de Vasconcellos (1995). A composição química das rochas utilizadas no cálculo dos modelos petrogenéticos é apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Composição química das rochas utilizadas no cálculo dos modelos petrogenéticos

SILL	Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TOTAL
Reserva	E-15/34	58,17	1,77	12,41	14,02	0,15	1,19	5,18	3,36	3,09	0,66	100,00
	E-15/36	50,08	3,42	13,56	15,44	0,16	4,33	7,69	2,80	1,71	0,82	100,01
	E-18/41	53,34	2,91	13,08	14,19	0,10	3,15	6,96	3,13	2,14	1,00	100,00
Prudentópolis	E-23/56	54,26	2,98	13,12	13,29	0,11	2,90	6,41	3,23	2,75	0,96	100,01
	E-25/64	50,72	4,04	13,55	13,01	0,11	5,05	7,93	3,08	1,99	0,52	100,00
Irati	E-13/30	51,22	2,37	13,13	15,12	0,09	5,16	9,19	2,41	1,02	0,29	100,01
	E-28/70	51,43	3,84	13,56	12,83	0,11	4,84	8,20	2,77	1,88	0,55	100,00
Rebouças	E-32/76	52,13	3,85	13,79	13,07	0,09	4,25	7,57	2,79	1,89	0,57	99,99
	E-34/82	51,89	0,97	13,86	11,67	0,17	7,03	11,83	2,05	0,42	0,12	100,00
Ponta Grossa	E-36/91	50,85	2,07	14,00	14,81	0,15	4,86	9,58	2,54	0,88	0,26	100,01
	E-36/93	51,48	2,36	13,06	15,18	0,19	4,96	8,96	2,47	1,05	0,30	100,00

## 6.1 SILL DE RESERVA

Para avaliar a efetividade da cristalização fracionada na evolução dos líquidos constituintes do *sill* de Reserva, cujos teores de SiO<sub>2</sub> variam de 48,46 a 58,17%, diferentes modelagens petrogenéticas foram formuladas. A primeira considerou a cristalização em uma única etapa, partindo da amostra E-15/36 (basalto com 50,08% de SiO<sub>2</sub> e 4,33% de MgO) para a amostra E-15/34 (traquiandesito com 58,17% de SiO<sub>2</sub> e 1,19% de MgO). A segunda considerou a cristalização fracionada em duas etapas, a primeira partindo da amostra E-15/36 para amostra E-18/41 (andesi-basalto com 53,34% de SiO<sub>2</sub> e 3,15% de MgO) e a segunda etapa, partindo da amostra E-18/41 para a amostra E-15/34.



A modelagem em uma única etapa apresentou resultados insatisfatórios, demonstrando que o processo é inadequado para explicar a evolução do *sill* ou que o processo de cristalização fracionada se deu em pulsos ou, ainda, que durante o fracionamento houve contaminação com a rocha encaixante.

Na modelagem concebida com duas etapas, foram elaboradas equações a partir da amostra menos diferenciada, com 50,08% de SiO<sub>2</sub> até outra com 53,34% de SiO<sub>2</sub>, cujas fases fracionantes incluem 21,57% de piroxênio; 48,47% de plagioclásio; 9,99% de olivina; 5,68% de ilmenita; 13,48% de magnetita e 0,81% de apatita, obtendo  $r^2$  (soma do quadrado dos resíduos) de 0,081 e F (quantidade de líquido remanescente) de 28,80%. O segundo estágio foi calculado utilizando a amostra com 53,34% de SiO<sub>2</sub> como amostra menos diferenciada evoluindo para a amostra mais diferenciada do *sill* de Reserva com 58,17% de SiO<sub>2</sub> (Figura 33). O segundo estágio não apresentou bons resultados, o que pode ser explicado por uma possível mistura de magmas durante o processo evolutivo, compatível com os diagramas de variação analisados.

Com a modelagem dos elementos maiores sugerindo a cristalização fracionada como processo operante, sua comprovação foi testada com base no comportamento dos elementos traço, os quais forneceram relação calculado/observado variando de 0,21 a 1,27. Cr e Ni são os elementos que apresentaram resultados insatisfatórios, com razão calculado/observado igual a 0,21 e 0,53, respectivamente. Nos demais elementos testados a relação situa-se sempre próxima de 1,0 (Tabela 8).

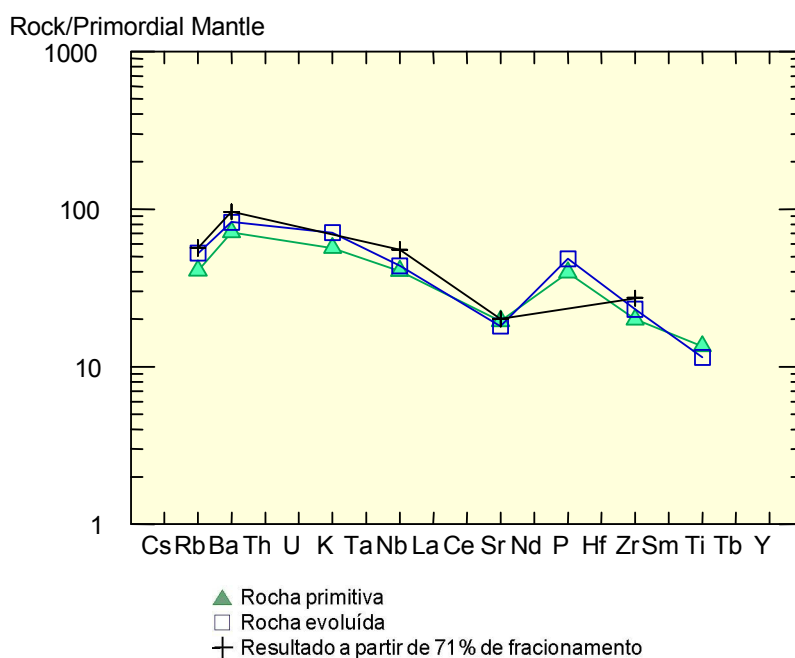


Figura 33 – Diagrama multielementar de Wood *et al.* (1979) para o modelo petrogenético obtido para o *sill* de Reserva

Tabela 8 – Resultados obtidos nos cálculos de balanço de massa para as composições químicas das rochas do *sill* de Reserva

ELEMENTOS TRAÇOS	CL REAL	CL CALCULADO	RAZÃO CL CALCULADO/OBSERVADO
<b>Ba</b>	625	726,06	1,16
<b>Rb</b>	45	48,58	1,08
<b>Nb</b>	27	34,20	1,27
<b>Sr</b>	416	460,65	1,10
<b>Zr</b>	254	301,26	1,18
<b>Y</b>	53	47,61	0,90
<b>Cr</b>	14	2,88	0,21
<b>Ni</b>	2	1,06	0,53

## 6.2 SILL DE PRUDENTÓPOLIS

No *sill* de Prudentópolis, onde os teores de SiO<sub>2</sub> variam de 50,53 a 54,26%, a modelagem petrogenética foi formulada considerando a cristalização em uma única etapa, partindo da amostra E-25/64 (basalto com 50,72% de SiO<sub>2</sub> e 5,05% de MgO) para a amostra E-23/56 (andesi-basalto com 54,26% de SiO<sub>2</sub> e 2,90% de

MgO). As fases fracionadas incluem 48,13% de plagioclásio; 26,27% de clinopiroxênio; 10,40% de ilmenita; 8,23% de anfibólio e 6,96% de olivina, obtendo  $r^2$  de 0,11 e F de 44,90% (Figura 34).

A análise dos elementos traço define relação calculado/observado próxima de 1,0 (Tabela 9), porém com alguns valores contrastantes, como a razão do Cr (0,11) e do Ni (1,6), sugerindo alto fracionamento da olivina.

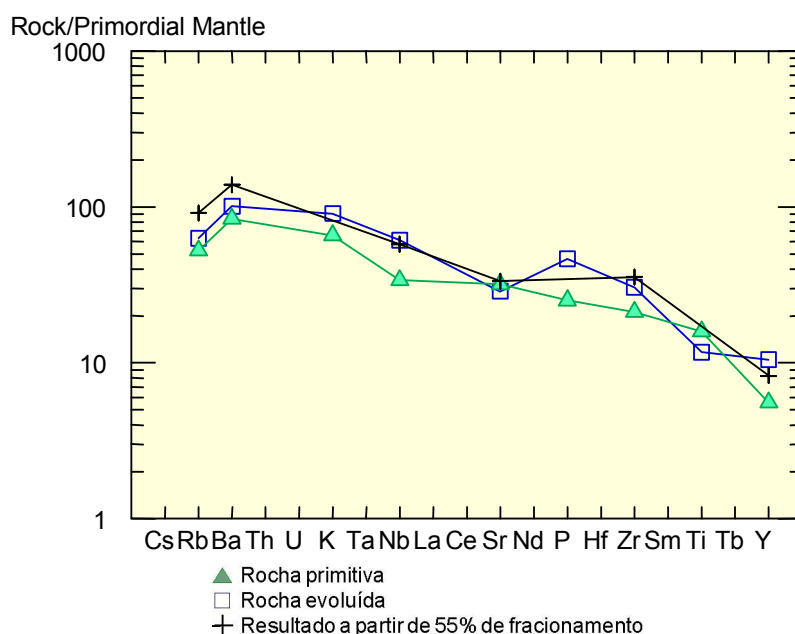


Figura 34 – Diagrama multielementar de Wood *et al.* (1979) para o modelo petrogenético obtido para o *sill* de Prudentópolis

Tabela 9 – Resultados obtidos nos cálculos de balanço de massa para as composições químicas das rochas do *sill* de Prudentópolis

ELEMENTOS TRAÇOS	CL REAL	CL CALCULADO	RAZÃO CL CALCULADO/OBSERVADO
Ba	762	1047,2	1,37
Rb	54	78,5	1,45
Nb	38	35,6	0,93
Sr	659	761,8	1,15
Zr	336	398	1,18
Y	51	39,7	0,78
Cr	22	2,4	0,11
Ni	8	12,8	1,6

### 6.3 SILL DE IRATI

No *sill* de Irati ocorre a passagem de um basalto primitivo (amostra E-13/30 com 51,22% de SiO<sub>2</sub> e 5,16% de MgO) até um basalto mais evoluído (amostra E-28/70 com 51,46% de SiO<sub>2</sub> e 4,84% de MgO), com fracionamento de 42,98% de piroxênio; 44,64% de plagioclásio e 12,38% de olivina, F de 43,93% e  $r^2$  de 0,36 (Figura 35).

A análise dos elementos traço mostra que a relação calculado/observado é próxima de 1,0 (Tabela 10), com erro maior apenas para Ni e Sr, que pode ser explicado pela elevada taxa de fracionamento de olivina e plagioclásio, respectivamente.

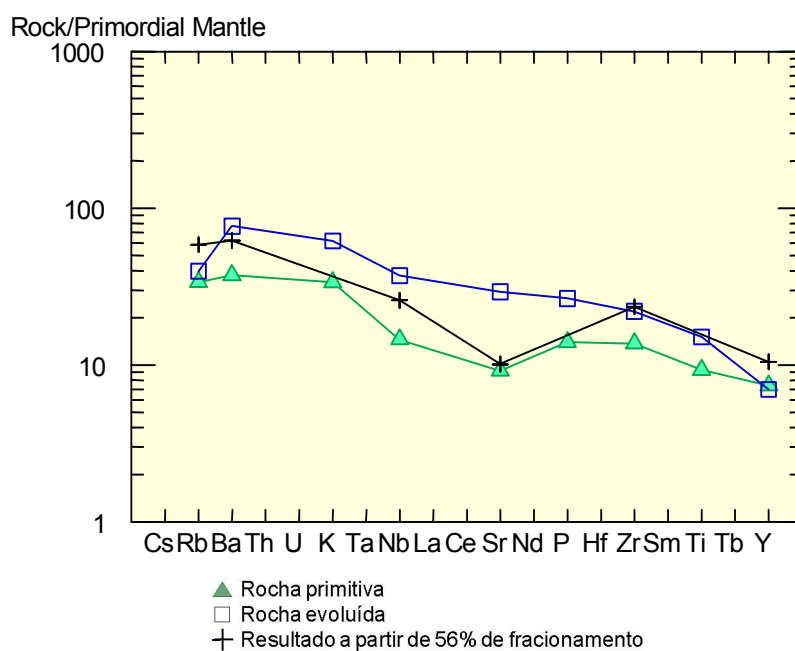


Figura 35 – Diagrama multielementar de Wood *et al.* (1979) para o modelo petrogenético obtido para o *sill* de Irati

Tabela 10 – Resultados obtidos nos cálculos de balanço de massa para as composições químicas das rochas do *sill* de Irati

ELEMENTOS TRAÇOS	CL REAL	CL CALCULADO	RAZÃO CL CALCULADO/OBSERVADO
<b>Ba</b>	581	698	1,20
<b>Rb</b>	34	35	1,03
<b>Nb</b>	23	16	0,69
<b>Sr</b>	673	251	0,37
<b>Zr</b>	241	276	1,15
<b>Y</b>	34	49	1,44
<b>Cr</b>	74	4,2E+01	0,56
<b>Ni</b>	56	1,5E+01	0,27

#### 6.4 SILL DE REBOUÇAS

No *sill* de Rebouças, onde os teores de SiO<sub>2</sub> variam de 51,08 a 52,13% (Tabela 11), a tentativa da modelagem petrogenética foi formulada considerando a cristalização em uma única etapa, partindo da amostra E-34/82 (basalto com 51,89% de SiO<sub>2</sub> e 7,03% de MgO) para a amostra E-32/76 (andesi-basalto com 52,13% de SiO<sub>2</sub> e 4,25% de MgO). Entretanto, a amostra primitiva (E-34/82) possui teor de TiO<sub>2</sub> igual a 0,97%, enquanto que a amostra E-32/76 possui TiO<sub>2</sub> de 3,85% e o fracionamento direto de uma rocha de baixo TiO<sub>2</sub> para uma de alto TiO<sub>2</sub> não possível. Novas tentativas foram realizadas considerando o fracionamento apenas entre as rochas de baixo TiO<sub>2</sub>, mas os resultados obtidos foram insatisfatórios.

Tabela 11 – Composição química das rochas estudadas do *Sill* de Rebouças

Amostra	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
E-32/76	52,13	3,85	13,79	13,07	0,09	4,25	7,57	2,79	1,89	0,57	99,99
E-34/80	51,28	1,32	13,53	14,27	0,19	6,12	10,35	2,21	0,57	0,16	100,01
E-34/81	51,08	1,45	13,62	14,03	0,15	6,31	10,37	2,27	0,55	0,17	100,01
E-34/82	51,89	0,97	13,86	11,67	0,17	7,03	11,83	2,05	0,42	0,12	100,00

## 6.5 SILL DE PONTA GROSSA

No *sill* de Ponta Grossa, onde os teores de  $\text{SiO}_2$  variam de 50,85 a 51,48, ocorre a passagem de um andesi-basalto (amostra E-36/91 com 50,85% de  $\text{SiO}_2$  e 4,86% de MgO) para um andesito (amostra E-36/93 com 51,48% de  $\text{SiO}_2$  e 4,96% de MgO), com fracionamento de 62,23% de plagioclásio; 19,95% de piroxênio; 9,63% de magnetita; 5,68% de olivina e 1,32% de apatita, com F de 14,16% e valor de  $r^2$  de 0,247 (Figura 36). A análise dos elementos traço mostra que a relação calculado/observado é próxima de 1,0 (Tabela 12).

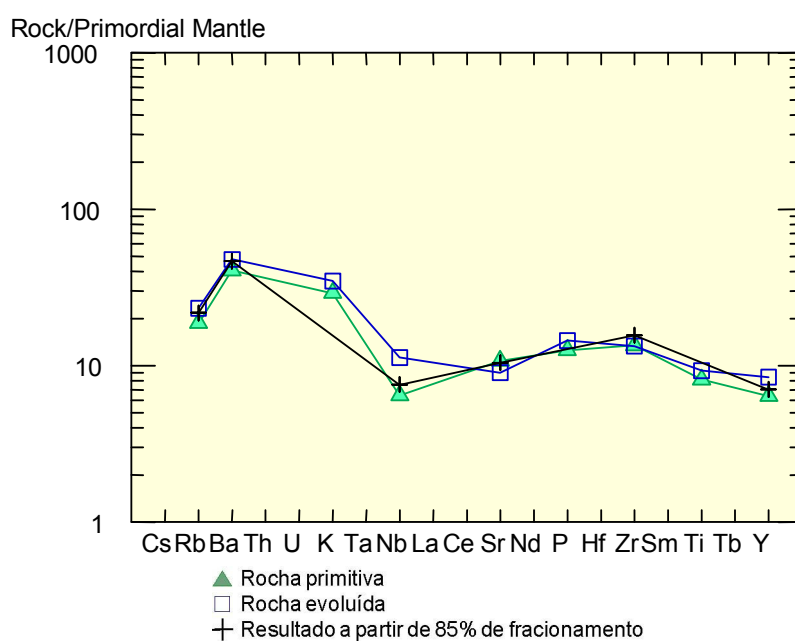


Figura 36 – Diagrama multielementar de Wood *et al.* (1979) para o modelo petrogenético obtido para o *sill* de Ponta Grossa

Tabela 12 – Resultados obtidos nos cálculos de balanço de massa para as composições químicas das rochas do *sill* de Ponta Grossa

ELEMENTOS TRAÇOS	CL REAL	CL CALCULADO	RAZÃO CL CALCULADO/OBSERVADO
Ba	361	350	0,97
Rb	20	18	0,93
Nb	7	5	0,66
Sr	207	240	1,16
Zr	146	171	1,16
Y	41	35	0,85
Cr	170	1,2E+01	0,68
Ni	34	3,4E+01	1,0



## 7 GEOTERMOBAROMETRIA

A geotermobarometria, baseada na composição mineral, permite determinar as condições de temperatura e pressão em que o magma cristalizou. Há uma variedade de métodos para estimar as pressões e temperaturas da cristalização de magmas basálticos e o método aqui escolhido foi aquele proposto por Putirka *et al.* (2003) e Putirka (2005), calibrado para clinopiroxênios e plagioclásios, respectivamente.

Putirka *et al.* (1996) calibraram uma série de expressões termodinâmicas baseadas em trabalhos experimentais que relacionam temperatura e pressão às constantes de equilíbrio, permitindo, assim, a construção de termobarômetros clinopiroxênio – líquido. Os termobarômetros são baseados no conteúdo de jadeíta dos clinopiroxênios. As calibrações são válidas para uma ampla escala de variação, dos toleítos aos ankeritos, para pressões de 8 a 30 kbar, normalmente em condições anidras. Estes termobarômetros foram usados para estudar o transporte do magma no Hawai e sua formulação foi estendida para 100 kbar e 2350 K, com o objetivo de examinar a taxa de extração do clinopiroxênio durante a fusão (Putirka, 1999).

Putirka *et al.* (2003) observaram que os líquidos basálticos geram produtos ligeiramente hidratados ou ricos em SiO<sub>2</sub> e que os termobarômetros desenvolvidos anteriormente (Putirka *et al.*, 1996) foram calibrados somente para composições basálticas. Para remediar esta deficiência, Putirka *et al.* (2003) calibraram novos termobarômetros usando as experiências que incluem os líquidos hidratados (subsaturados em água) e ricos em SiO<sub>2</sub> (que variam até 71,3% SiO<sub>2</sub>). Como nos modelos prévios, as novas calibrações são baseadas na cristalização da jadeíta e no equilíbrio de troca jadeíta - diopsídio + hedembergita. De acordo com os autores, quando comparadas ao modelo apresentado em Putirka *et al.* (1996), as novas expressões são mais complexas, mas produzem estimativas de temperatura e pressão satisfatórias, aplicáveis para uma ampla escala de variação composicional. Os modelos desenvolvidos em 2003 são mais gerais e podem ser usados para basaltos, andesitos e dacitos continentais ou oceânicos, enquanto que os modelos de 1996 são mais precisos, porém válidos para um grupo de dados restritos. Os erros estimados para os cálculos da temperatura e pressão são, respectivamente,  $\pm 33^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 1,7$  kbar (Putirka *et al.*, 2003). As expressões calibradas por Putirka *et al.*

(2003) para determinar temperatura e pressão de cristalização de clinopiroxênios são apresentadas abaixo.

$$\frac{10^4}{T \text{ (K)}} = 4,60 - 4,37 \cdot 10^{-1} \ln \left( \frac{(Jd^{cpX} Ca^{liq} Fm^{liq})}{[DiHd^{cpX} Na^{liq} Al^{liq}]} \right) - 6,54 \cdot 10^{-1} \ln[Mg^{liq}] - 3,26 \cdot 10^{-1} \ln[Na^{liq}] - 6,32 \cdot 10^{-3} (P) - 0,92 \ln[Si^{liq}] + 2,74 \cdot 10^{-1} \ln[Jd^{cpX}]$$

$$P = -88,3 + 2,82 \cdot 10^{-3} [T] \ln \left( \frac{(Jd^{cpX})}{[Na^{liq} Al^{liq} (Si^{liq})^2]} \right) + 2,19 \cdot 10^{-2} (T) - 25,1 \ln[Ca^{liq} Si^{liq}] + 7,03 [Mg^{liq}] + 12,4 \ln[Ca^{liq}]$$

Similarmente aos geotermobarômetros calibrados a partir das composições clinopiroxênio – líquido (Putirka *et al.*, 1996, 2003), Putirka (2005) construiu termobarômetros baseados nas composições plagioclásio – líquido. Estes geotermobarômetros também foram calibrados a partir de expressões termodinâmicas e consideram as constantes de equilíbrio baseadas na cristalização da anortita e na reação de troca entre anortita e albita. Os erros estimados para os cálculos da temperatura e pressão são, respectivamente,  $\pm 23^\circ\text{C}$  e  $\pm 1,8$  kbar (Putirka, 2005).

As expressões termodinâmicas calibradas para determinar a temperatura e pressão de cristalização de plagioclásios, definidas por Putirka (2005), são apresentadas abaixo.

$$\frac{10^4}{T \text{ (K)}} = 6,12 + 0,257 \ln \left( \frac{(An^{pl})}{[Ca^{liq} (Al^{liq})^2 (Si^{liq})^2]} \right) - 3,166 (Ca^{liq}) + 0,2166 (H_2O^{liq}) - \left( \frac{Al^{liq}}{Al^{liq} + Si^{liq}} \right) + 1,216 (Ab^{pl})^2 - 2,475 \cdot 10^{-2} [P]$$

$$P = -42,2 + 4,94 \cdot 10^{-2} T + 1,16 \cdot 10^{-2} T \ln \left( \frac{Ab^{pl} Al^{liq} Ca^{liq}}{An^{pl} Na^{liq} Si^{liq}} \right) - 382,3 (Si^{liq})^2 + 514,2 (Si^{liq})^3 - 19,6 \ln(Ab^{pl}) - 139,8 (Ca^{liq}) + 287,2 (Na^{liq}) + 163,9 (K^{liq})$$

Tanto as calibrações dos geotermobarômetros clinopiroxênio – líquido (Putirka *et al.*, 1996, 2003), como dos geotermobarômetros plagioclásio – líquido (Putirka, 2005) são baseadas em análise de regressão de experimentos de fusão parcial, onde os cristais de plagioclásio e/ou clinopiroxênio foram gerados sob várias condições de temperatura e pressão, a partir de um líquido magmático também de composição variável.

De acordo com Putirka (2005) os geobarômetros construídos para prever pressão de dados experimentais de 1 atm são calibrados a partir de pressões estimadas entre –5 kbar e 5 kbar (Figura 37). De acordo com o autor as pressões negativas obtidas representam um número positivo pequeno e refletem cristalização a 1 atm.

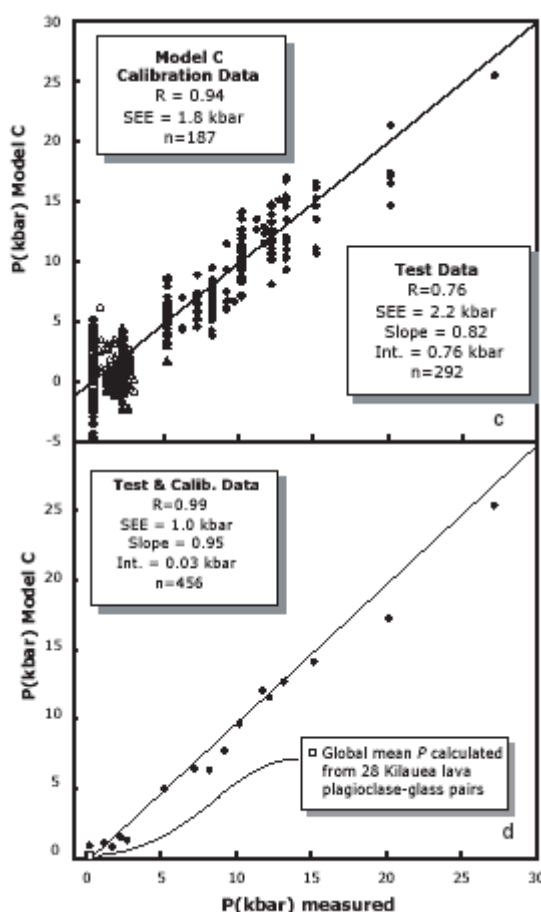


Figura 37 – (A) Modelo utilizado para calcular a pressão para teste e análise de regressão e (B) média dos valores de P utilizada para calcular dados experimentais (Putirka, 2005)

## 7.1 GEOTERMOBAROMETRIA EM CLINOPIROXÊNIOS

Para o cálculo de temperatura e pressão dos clinopiroxênios é necessário verificar se as composições de rocha-total podem representar um líquido a partir do qual os clinopiroxênios se cristalizaram. Um procedimento possível consiste em comparar o *mg#* (número de magnésio) da rocha com o *mg#* do clinopiroxênio. O campo de equilíbrio para troca Fe/Mg entre o líquido basáltico e o clinopiroxênio ( $0,23 \pm 0,05$ ; Topis & Carrol, 1995 *in* Damasceno *et al.*, 2002) corresponde a área limitada pelas linhas tracejadas na figura 38. O diagrama apresenta as relações entre *mg#* da rocha e o *mg#* dos clinopiroxênios para núcleo e borda de fenocristais e microfenocristais e cristais da matriz para 18 amostras dos *sills* estudados. A maioria dos clinopiroxênios analisados apresenta *mg#* variando de 0,70 a 0,85, onde verifica-se um equilíbrio entre os fenocristais e a matriz, indicando que os clinopiroxênios se originaram a partir do líquido, cuja composição é representada pela análise de rocha total. Após analisadas e testadas as composições de rocha total, seguiu-se com o tratamento das estimativas de temperatura e pressão.

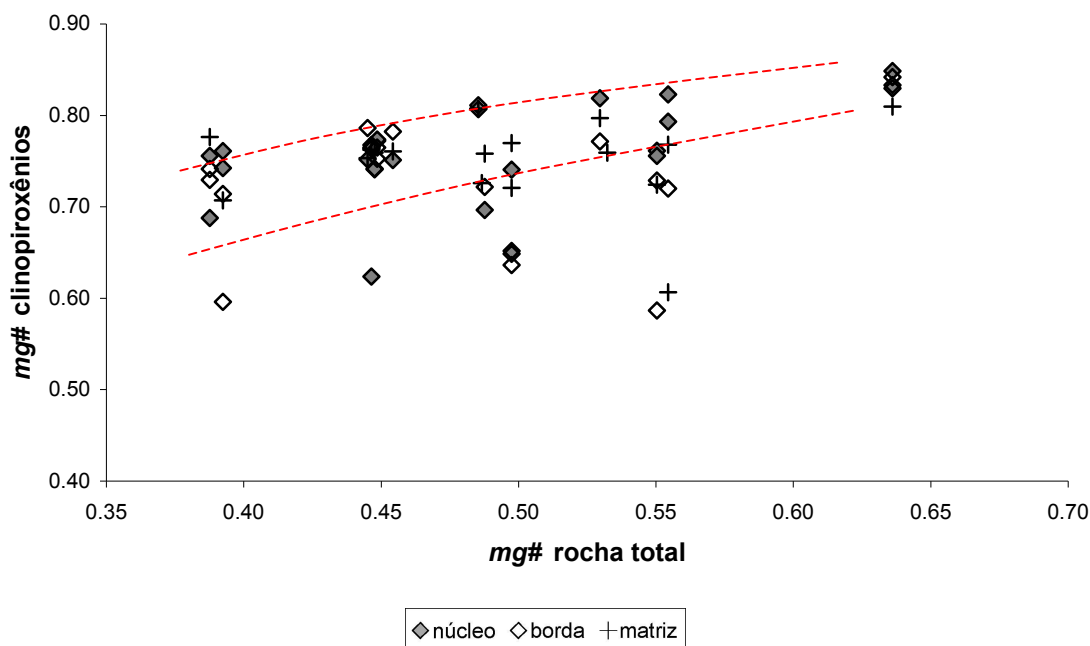


Figura 38 – *mg#* da rocha vs. *mg#* clinopiroxênios. O campo de equilíbrio para troca de Fe/Mg entre o clinopiroxênio e o líquido basáltico é limitado pelas linhas tracejadas

As pressões obtidas a partir do termobarômetro clinopiroxênio – líquido para as rochas dos *sills* estudados revelam que os magmas cristalizaram sob uma escala de pressão variável de –3,8 kbar a 6,50 kbar, com predomínio na faixa entre 3 e 4 kbar (Figura 39, Tabela 13). As pressões situadas no intervalo entre 0 e –5,0 kbar representam um número positivo pequeno e possivelmente refletem cristalização a 1 atm, conforme relatado por Putirka (2005). Além disso, o erro do geobarômetro situa-se entre 2 – 2,5 Kbar, onde qualquer valor dentro do intervalo –2,5 a 2,5 kbar pode ser considerado igual a 1 atm. Pressões inferiores a –5,0 kbar foram descartadas pois, refletem erro de estimativa, uma vez que pressões negativas são impossíveis de ocorrer. A profundidade média estimada, calculada a partir das pressões obtidas, corresponde a 10 km (assume-se 3,3 km/kbar, Putirka *et al.*, 1996).

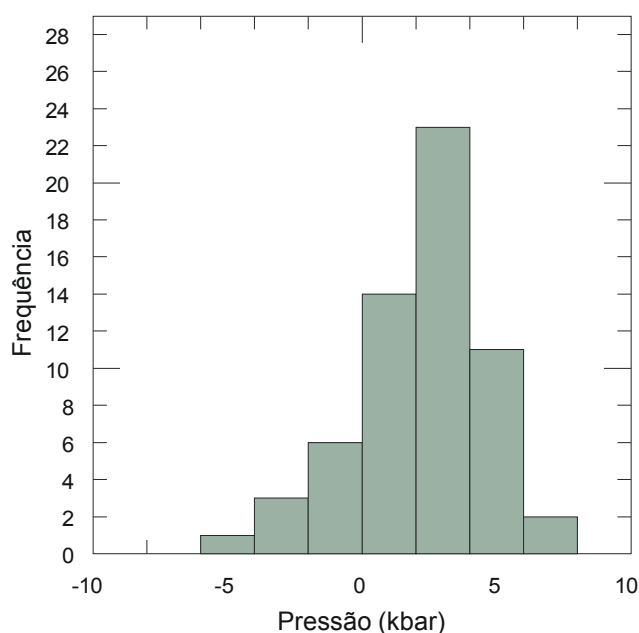


Figura 39 – Histograma de frequência para pressão de cristalização dos clinopiroxênios para os *sills* estudados

No *sill* de Reserva, as pressões variam de –0,5 a 6,5 kbar, onde podem ser distinguidos três intervalos. O primeiro engloba os cristais de clinopiroxênio formados em níveis crustais mais profundos (profundidade média aproximada igual a 18 km) sob condições de mais alta pressão (4,2 a 6,5 kbar). O segundo estágio compreende

os cristais formados em níveis crustais pouco mais rasos ( $\approx 10$  km) sob condições de pressões intermediárias (2,4 a 3,6 kbar). O último engloba os cristais gerados sob condições de baixa pressão ( $-5,1$  a  $1,2$  kbar), cristalizados em níveis crustais próximos da superfície (profundidade média estimada em 1 a 1,5 km).

No *sill* de Prudentópolis, as estimativas de pressão variam de  $-2,8$  a  $5,3$  kbar, onde são reconhecidos três domínios: um de alta pressão (4,4 a 5,3 kbar), um intermediário (1,2 a 2,4 kbar) e outro de baixa pressão ( $-2,8$  a  $0,5$  kbar). O primeiro compreende clinopiroxênios cristalizados em níveis crustais mais profundos (profundidade média aproximada igual a 15,62 km), enquanto que o segundo compreende os cristais gerados em condições mais amenas, em profundidade média igual a 5,39 km. O último representa a cristalização em níveis mais próximos à superfície.

No *sill* de Irati o reduzido número de análises ( $n=6$ ) não permite um diagnóstico preciso das condições de pressão nas quais os clinopiroxênios cristalizaram. Entretanto, são distintos dois intervalos: um com pressões variando de  $-3,8$  a  $0,4$  kbar e outro, variando de 2,6 a 3,0 kbar. O segundo intervalo pode ser interpretado como responsável pela geração dos primeiros cristais de clinopiroxênios em níveis crustais mais profundos ( $\approx 9$  km), enquanto que o segundo representa a cristalização em níveis crustais mais superficiais (em torno de 500m a 1,0 km de profundidade).

No *sill* de Rebouças as pressões obtidas variam de 3,0 a 3,9 kbar, onde apenas duas amostras registram pressões diferentes deste intervalo (34/80n com pressão de 0,9 kbar e 34/82c, com pressão de 2,0 kbar). Os cristais gerados no intervalo entre 3,0 e 3,9 kbar representam o início da cristalização dos clinopiroxênios em profundidade média igual a 11,16 km. A análise da amostra 34/82c pode representar a existência de uma fase intermediária, enquanto que a amostra 34/80n pode representar uma última etapa, cristalizada em níveis mais próximos à superfície.

No *sill* de Ponta Grossa as pressões variam de  $-2,1$  a  $2,3$  kbar e podem ser distintos dois intervalos. O primeiro compreende os cristais formados entre 1,6 e 2,3 kbar, com profundidade média estimada em 6,66 km. O segundo, engloba os cristais

gerados sob pressões variáveis entre –2,1 a 0,1 kbar, que reflete condições de cristalização próximas à superfície.

Tabela 13 – Estimativas de temperatura e pressão de cristalização dos clinopiroxênios obtidas a partir do geotermobarômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003)

AMOSTRA	ANÁLISE	Loc	T (°C)	P (KBAR)	AMOSTRA	ANÁLISE	Loc	T (°C)	P (KBAR)
13/30e	microfen	borda	1162,85	-0,1	23/56a	fenoc	borda	1076,85	0,3
13/30e	microfen	centro	1175,85	3,0	23/56a	fenoc	centro	1081,85	1,2
13/30c	microfen	centro	1254,85	0,4	23/56b	matriz	centro	1076,85	0,5
13/30c	microfen	borda	1170,85	2,7	23/56c	microfen	borda	1097,85	1,3
13/30d	fenoc	centro	1201,85	2,6	23/56c	microfen	centro	1153,85	-2,8
13/30d	fenoc	borda	1134,85	-3,8	23/57h	matriz	centro	1142,85	2,4
15/34a	fenoc	borda	932,85	-8,6	25/64e	microfen	borda	1160,85	4,4
15/34a	fenoc	centro	1034,85	4,3	25/64e	microfen	centro	1153,85	4,5
15/35e	fenoc	borda	1136,85	0,9	25/64i	matriz	centro	1155,85	5,3
15/35e	fenoc	centro	1133,85	3,0	32/76d	microfen	borda	1134,85	3,2
15/35c	matriz	centro	1117,85	0,5	32/76d	microfen	centro	1141,85	3,9
15/36c	fenoc	borda	1150,85	6,2	32/76c	matriz	centro	1133,85	3,4
15/36c	fenoc	centro	1151,85	5,8	34/80a	matriz	centro	1203,85	3,5
15/36d	fenoc	borda	1140,85	5,1	34/80g	microfen	borda	1221,85	3,4
15/36d	fenoc	centro	1137,85	5,1	34/80g	microfen	centro	1194,85	3,0
16/39c	fenoc	borda	1095,85	0,0	34/80h	matriz	centro	1210,85	3,2
16/39c	fenoc	centro	1094,85	0,5	34/80n	matriz	centro	1289,85	0,9
16/39g	fenoc	borda	1094,85	-0,2	34/82b	fenoc	borda	1230,85	3,1
16/39g	fenoc	centro	1102,85	1,2	34/82b	fenoc	centro	1233,85	3,6
16/39h	matriz	centro	1094,85	-0,2	34/82c	microfen	borda	1235,85	3,7
19/44b	fenoc	borda	1134,85	3,4	34/82c	microfen	centro	1232,85	2,0
19/44b	fenoc	centro	1157,85	5,3	34/82h	matriz	centro	1233,85	3,2
19/44e	matriz	centro	1109,85	-0,5	35/89b	fenoc	borda	1282,85	-0,1
19/45d	microfen	borda	1121,85	2,4	35/89b	fenoc	centro	1292,85	0,1
19/45d	microfen	centro	1154,85	6,5	35/89e	microfen	borda	1284,85	2,2
19/45e	matriz	centro	1113,85	1,0	35/89e	microfen	centro	1301,85	1,8
19/46a	microfen	borda	1123,85	3,6	35/89i	matriz	centro	1283,85	-0,1
19/46a	microfen	centro	1147,85	-5,1	36/91e	fenoc	borda	1153,85	1,6
19/46e	fenoc	borda	1132,85	4,4	36/91f	microfen	centro	1235,85	-2,1
19/46e	fenoc	centro	1140,85	5,9	36/91g	matriz	centro	1161,85	2,3
19/46d	matriz	centro	1123,85	4,2	36/93b	matriz	centro	1179,85	2,2

Analisando as estimativas de pressão, apenas para análises obtidas em cristais da matriz, verifica-se pressões variáveis entre –0,5 a 5,3 kbar e, quando comparadas com as estimativas obtidas em fenocristais/microfenocristais, constata-se um decréscimo médio da ordem de 0,5 kbar. De modo geral, pode admitir-se que



fenocristais, microfenocristais e matriz cristalizaram sob condições de pressão similares.

A temperatura de cristalização estimada nos clinopiroxênios varia de 932,85° a 1301,85°C, com predomínio na faixa entre 1100° e 1200°C (Figura 40, vide tabela 13). No *sill* de Reserva as temperaturas variam de 932,85° a 1157,85°C. No *sill* de Prudentópolis, situam-se na faixa entre 1076,85° e 1160,85°C. As maiores temperaturas registradas foram aquelas obtidas para os *sills* de Ponta Grossa e Rebouças, cujos valores variam de 1153,85° a 1301,85°C e 1133,85° a 1289,85°C, respectivamente.

A comparação entre as temperaturas obtidas em fenocristais com aquelas de microfenocristais revela temperaturas mais elevadas para os microfenocristais, superiores em até 72°C, conforme pode ser observado na tabela 14. Entretanto, a maioria das temperaturas observadas registram variações inferiores a 28°C, sugerindo pouca variação térmica nas condições de cristalização.

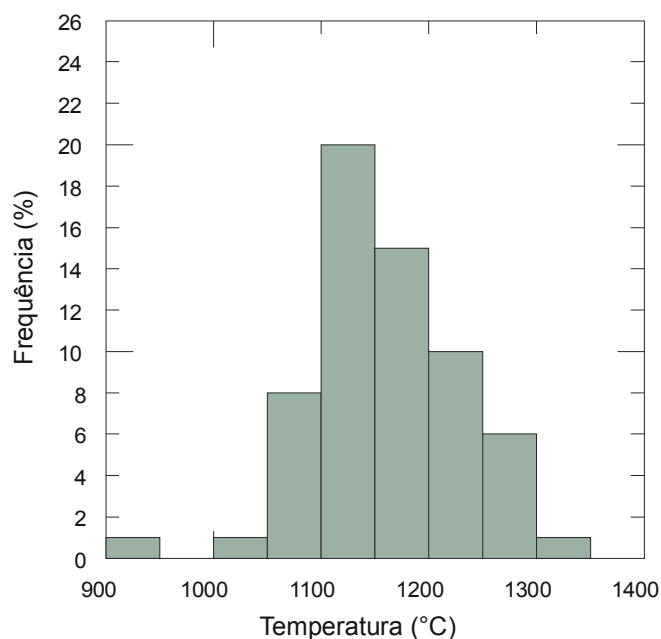


Figura 40 – Histograma de frequência para temperatura de cristalização dos clinopiroxênios para os *sills* estudados

Tabela 14 – Comparação entre as estimativas de temperatura obtidas em fenocristais e microfenocristais de clinopiroxênios, a partir do geotermômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003)

AMOSTRA	ANÁLISE	Loc	T (°C)	AMOSTRA	ANÁLISE	Loc	T (°C)	DIFERENÇA DE T FENOCRISTAIS E MICROFENOCRISTAIS
13/30d	fenoc	borda	1134,85	13/30e	microfen	borda	1162,85	-28
19/46e	fenoc	borda	1132,85	19/46a	microfen	borda	1123,85	9
23/56a	fenoc	borda	1076,85	23/56c	microfen	borda	1097,85	-21
34/82b	fenoc	borda	1230,85	34/82c	microfen	borda	1235,85	-5
35/89b	fenoc	borda	1282,85	35/89e	microfen	borda	1284,85	-2
13/30d	fenoc	centro	1201,85	13/30e	microfen	centro	1175,85	26
19/46e	fenoc	centro	1140,85	19/46a	microfen	centro	1147,85	-7
23/56a	fenoc	centro	1081,85	23/56c	microfen	centro	1153,85	-72
34/82b	fenoc	centro	1233,85	34/82c	microfen	centro	1232,85	1
35/89b	fenoc	centro	1292,85	35/89e	microfen	centro	1301,85	9

Analisando as estimativas de temperaturas obtidas para o núcleo e borda dos cristais verifica-se um decréscimo variável entre 1 até 102°C (Tabela 15). As pequenas diferenças observadas entre núcleo e borda (1 a 5°C), refletem um gradiente térmico praticamente constante durante a cristalização dos minerais, com taxa de resfriamento também constante. Algumas amostras apresentam diferenças de temperatura entre núcleo e borda superiores a 20 – 30°C. Tais decréscimos representam variações nas condições geotérmicas e aumento da taxa de resfriamento. A maior diferença observada foi aquela registrada na amostra 15/34a, que apresenta um decréscimo na ordem de 100°C.

Além disso, algumas amostras exibem diferenças negativas, ou seja, apresentam um acréscimo de temperatura do núcleo para a borda dos cristais. Quando a diferença é pequena pode ser de fato uma diferença real, mas aquelas que apresentam diferenças significativas podem ser explicadas pelo processo de recarga magmática. Muitos cristais de plagioclásio mostram evidências de recarga na forma de zoneamento reverso, ou seja, alto An (componente anortita) nas bordas comparado aos núcleos. Os clinopiroxênios podem ser similarmente afetados. Quando o magma paralisa e cristaliza parcialmente, um novo magma de alta temperatura pode ser introduzido na câmara magmática, promovendo uma mistura dos dois magmas, levando a uma elevação geral da temperatura.

Tabela 15 – Estimativas de temperatura de cristalização obtidas em núcleo e borda de fenocristais/microfenocristais de clinopiroxênios, a partir do geotermobarômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003)

SILL	AMOSTRA	TEMPERATURA NÚCLEO (°C)	TEMPERATURA BORDA (°C)	DIFERENÇA DE TEMPERATURA NÚCLEO/BORDA (°C)
Irati	13/30e	1175,85	1162,85	13,00
	13/30d	1201,85	1134,85	67,00
Reserva	15/34a	1034,85	932,85	102,00
	15/35e	1133,85	1136,85	-3,00
	15/36c	1151,85	1150,85	1,00
	15/36d	1137,85	1140,85	-3,00
	16/39c	1094,85	1095,85	-1,00
	16/39g	1102,85	1094,85	8,00
	19/44b	1157,85	1134,85	23,00
	19/45d	1154,85	1121,85	33,00
	19/46a	1147,85	1123,85	24,00
	19/46e	1140,85	1132,85	8,00
Prudentópolis	23/56a	1081,85	1076,85	5,00
	23/56c	1153,85	1097,85	56,00
	25/64e	1153,85	1160,85	-7,00
Rebouças	32/76d	1141,85	1134,85	7,00
	34/80g	1194,85	1221,85	-27,00
	34/82b	1233,85	1230,85	3,00
	34/82c	1232,85	1235,85	-3,00
Ponta Grossa	35/89b	1292,85	1282,85	10,00
	35/89e	1301,85	1284,85	17,00

A temperatura de cristalização dos clinopiroxênios, analisada nos cristais da matriz da rocha, varia de 1076,85° a 1289,85°C (Tabela 16). As temperaturas mais altas são registradas no *sill* de Rebouças, com média de 1217,10°C, superando a média obtida para o núcleo dos fenocristais/microfenocristais. Nos *sills* de Reserva, Prudentópolis e Ponta Grossa, a temperatura média da matriz situa-se na faixa entre a temperatura de núcleo e a de borda. No *sill* de Irati não foram realizadas análises em cristais de clinopiroxênios constituintes da matriz da rocha.

Tabela 16 – Estimativas de temperatura de cristalização obtidas em cristais de clinopiroxênios constituintes da matriz da rocha, a partir do geotermobarômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003)

	AMOSTRA	ANÁLISE	Loc	T (°C)	P (kbar)
Reserva	15/35c	matriz	centro	1117,85	0,5
	16/39h	matriz	centro	1094,85	-0,2
	19/44e	matriz	centro	1109,85	-0,5
	19/45e	matriz	centro	1113,85	1
	19/46d	matriz	centro	1123,85	4,2
Prudentópolis	23/56b	matriz	centro	1076,85	0,5
	23/57h	matriz	centro	1142,85	2,4
	25/64i	matriz	centro	1155,85	5,3
Rebouças	32/76c	matriz	centro	1133,85	3,4
	34/80a	matriz	centro	1203,85	3,5
	34/80h	matriz	centro	1210,85	3,2
	34/80n	matriz	centro	1289,85	0,9
	34/82h	matriz	centro	1233,85	3,2
Ponta Grossa	35/89i	matriz	centro	1283,85	-0,1
	36/91g	matriz	centro	1161,85	2,3
	36/93b	matriz	centro	1179,85	2,2

Quando plotadas em diagramas binários (Figura 41), as estimativas de temperatura e pressão apresentam boa correlação, ou seja, os clinopiroxênios de maior temperatura foram gerados sob condições de pressão também maiores, refletindo cristalização em níveis crustais mais profundos. O  $r^2$  (soma dos quadrados dos resíduos) de 0,226, obtido quando são consideradas estimativas de temperatura e pressão de todos os *sills*, é significativo a um nível de 90%.

As estimativas de pressão e temperatura foram individualizadas para cada *sill* estudado. Os *sills* de Reserva e Rebouças são aqueles que apresentam as melhores correlações com  $r^2$  de 0,661 e 0,575, respectivamente, significantes a um nível superior a 95%. Nos demais *sills* as correlações são significantes a um nível inferior a 80% e provavelmente estão relacionadas à existência de geração de cristais em condições distintas ou associados ao reduzido conjunto de dados.

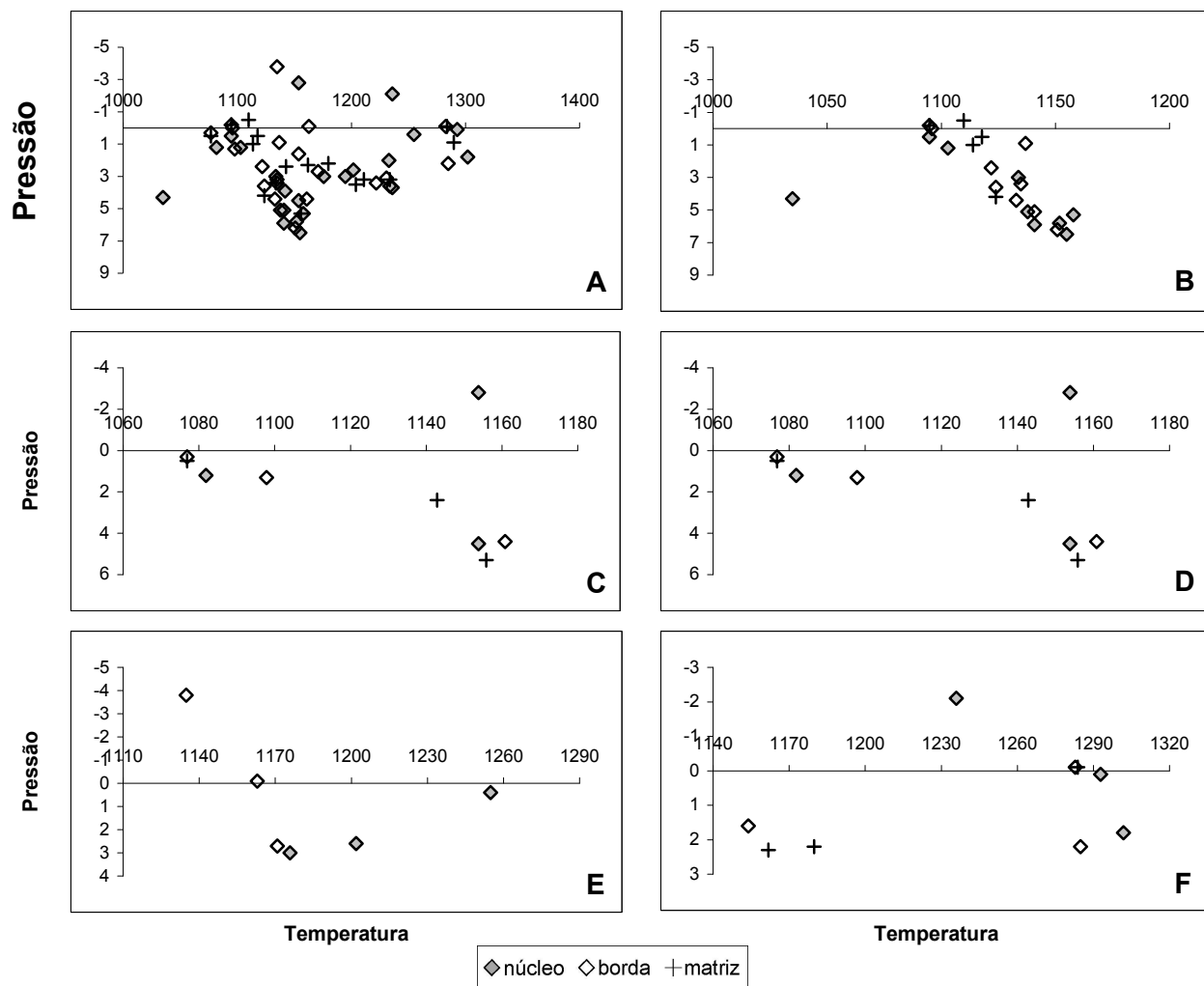


Figura 41 – Diagramas de variação temperatura vs. pressão para os *sills* estudados. Estimativas obtidas a partir dos clinopiroxênios em núcleo e borda de fenocristais/microfenocristais e cristais da matriz. (A) Comparação entre todos os *sills* estudados; (B) *Sill* de Reserva; (C) *Sill* de Prudentópolis; (D) *Sill* de Irati; (E) *Sill* de Rebouças e (F) *Sill* de Ponta Grossa

As temperaturas obtidas em clinopiroxênios, por meio do geotermômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003), assemelham-se àquelas obtidas com o geotermômetro de Lindsley e Anderson (1983) (Figura 42), o que corrobora a técnica utilizada e ratifica os resultados obtidos.

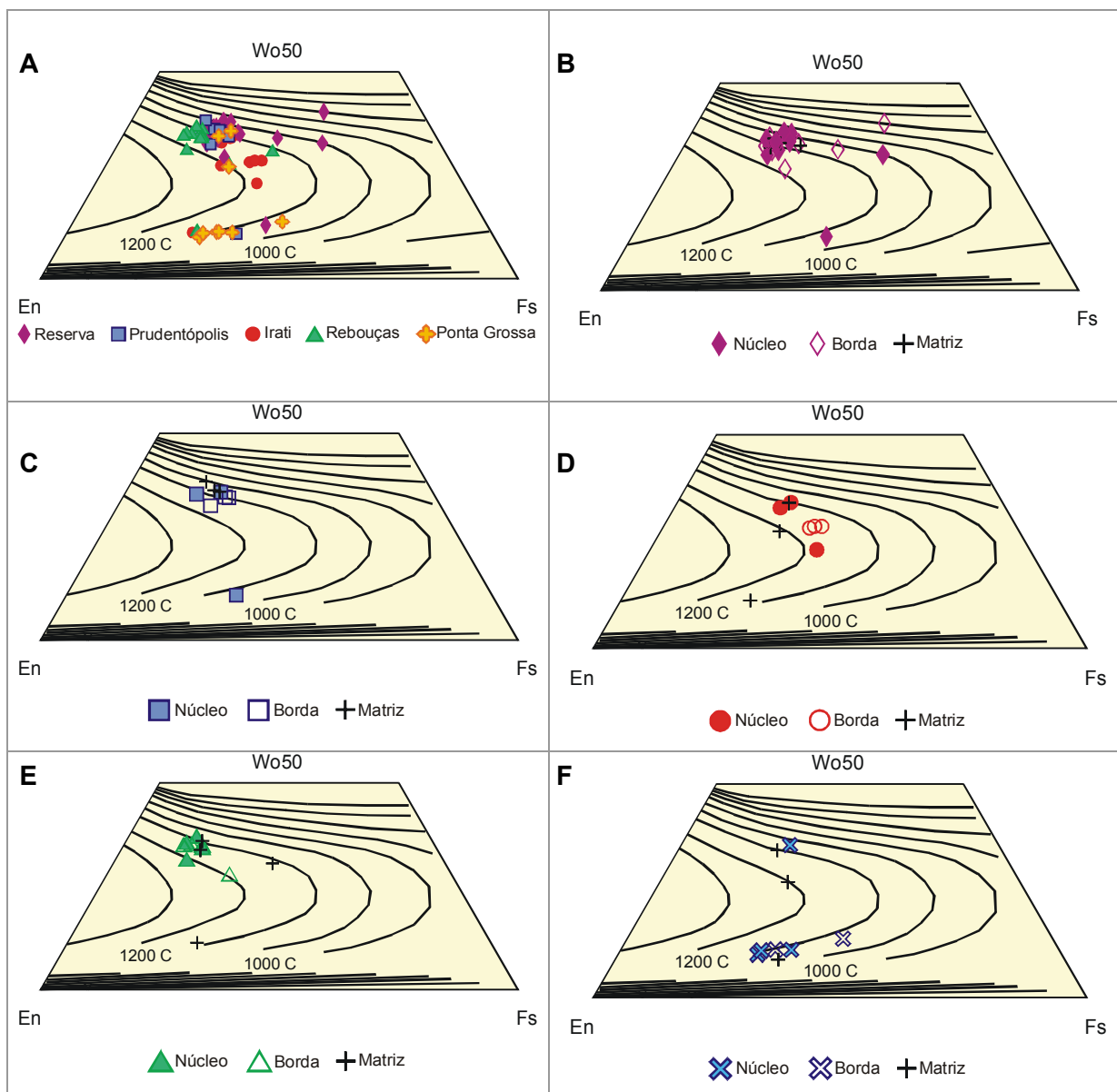


Figura 42 - Isotermas de Lindsley e Anderson (1983) com projeção dos piroxênios de basaltos e microgabros dos *sills* estudados. (A) Todos os *sills*; (B) *Sill* de Reserva; (C) *Sill* de Prudentópolis; (D) *Sill* de Irati; (E) *Sill* de Rebouças e (F) *Sill* de Ponta Grossa

## 7.2 GEOTERMOBAROMETRIA EM PLAGIOCLÁSIOS

O plagioclásio é um dos muitos minerais ígneos comuns e a divisão do sódio e cálcio entre o plagioclásio e o líquido coexistente tem sido extensivamente utilizado para geotermobarometria.

A pressão estimada a partir dos plagioclásios nos *sills* estudados varia de -0,2 kbar a 10,1 kbar, com média de 5,54 kbar (Figura 43, tabela 17), indicando que a profundidade média estimada, calculada a partir das pressões obtidas, corresponde a 18 km.

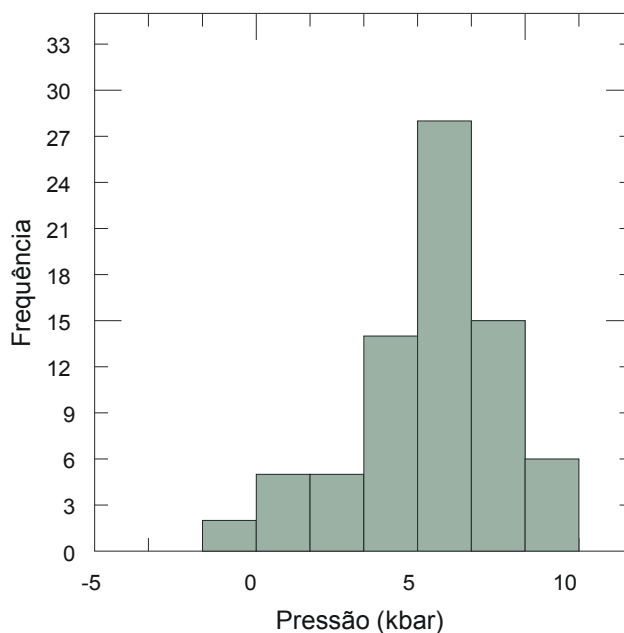


Figura 43 – Histograma de frequência para pressão de cristalização dos plagioclásios para os *sills* estudados

No *sill* de Reserva, as pressões variam de 4,0 a 9,2 kbar, onde podem ser distintos dois intervalos barométricos, um de alta pressão (>7,0 kbar) e outro de baixa pressão (<7,0 kbar). O primeiro intervalo representa o início da cristalização dos plagioclásios em níveis crustais mais profundos (profundidade média igual a 27,65 km). O segundo representa uma nova fase de cristalização, sob condições mais amenas, com profundidade média estimada igual a 18,88 km.

No *sill* de Prudentópolis, as estimativas de pressão variam de 3,1 a 8,5 kbar, onde são reconhecidos dois intervalos barométricos, semelhantes ao *sill* de Reserva. O primeiro intervalo (> 6,0 kbar) representa o início da cristalização dos plagioclásios em níveis crustais mais profundos (profundidade média estimada em 25,24 km), enquanto que o segundo representa uma nova fase de cristalização, sob condições mais amenas, com profundidade média igual a 15,69 km.



Tabela 17 – Estimativas de temperatura e pressão de cristalização dos plagioclásios obtidas a partir do geotermobarômetro calibrado por Putirka (2005)

AMOSTRA	ANÁLISE	LOC	T (°C)	P (KBAR)	AMOSTRA	ANÁLISE	LOC	T (°C)	P (KBAR)
13/30b	matriz	centro	1192,85	5,2	25/64b	microfen	centro	1167,85	4,5
13/30a	fenoc	centro	1177,85	3,7	25/64c	microfen	centro	1188,85	7,0
13/30a	fenoc	borda	1200,85	7,1	25/64c	microfen	borda	1186,85	8,2
15/34e	microfen	centro	1110,85	5,4	14/32b	matriz	centro	1071,85	0,4
15/34e	microfen	borda	1072,85	6,3	14/32a	fenoc	centro	1078,85	0,3
15/34h	fenoc	borda	1071,85	6,2	14/32a	fenoc	borda	1080,85	0,8
15/34h	fenoc	centro	1092,85	5,9	32/76b	microfen	centro	1173,85	6,2
15/35f	matriz	centro	1187,85	5,7	32/76b	microfen	borda	1172,85	6,6
15/35b	fenoc	centro	1197,85	6,6	32/76a	fenoc	centro	1168,85	5,5
15/35b	fenoc	borda	1166,85	8,3	32/76a	fenoc	borda	1143,85	8,3
15/35a	microfen	centro	1187,85	6,8	32/76e	matriz	centro	1166,85	6,0
15/35a	microfen	borda	1186,85	5,2	34/80f	matriz	centro	1210,85	5,0
15/36f	fenoc	centro	1194,85	9,2	34/80m	matriz	centro	1191,85	3,6
15/36e	fenoc	centro	1187,85	7,9	34/80e	microfen	centro	1262,85	9,6
15/36e	fenoc	borda	1184,85	8,4	34/80e	microfen	borda	1266,85	10,1
16/39d	microfen	borda	1177,85	9,1	34/80c	fenoc	centro	1181,85	3,0
16/39d	microfen	centro	1198,85	7,6	34/80c	fenoc	borda	1200,85	4,2
16/39e	fenoc	centro	1195,85	8,2	34/82a	fenoc	borda	1124,85	-0,1
16/39e	fenoc	borda	1110,85	9,1	34/82a	fenoc	centro	1180,85	2,6
16/39f	matriz	centro	1187,85	8,7	34/82e	matriz	centro	1224,85	5,0
19/44f	matriz	centro	1148,85	7,3	34/82d	microfen	centro	1234,85	5,6
19/44c	microfen	centro	1166,85	6,1	34/82d	microfen	borda	1122,85	-0,2
19/44c	microfen	borda	1168,85	6,0	35/89d	microfen	borda	1154,85	1,4
19/45c	matriz	centro	992,85	6,5	35/89d	microfen	borda	1207,85	8,0
19/45f	matriz	centro	1169,85	5,3	35/89d	microfen	centro	1169,85	2,4
19/46f	matriz	centro	1147,85	4,1	35/89f	matriz	centro	1202,85	4,9
19/46c	microfen	centro	1146,85	4,0	35/89a	fenoc	borda	1209,85	6,2
23/56e	fenoc	centro	1162,85	5,2	35/89a	fenoc	centro	1160,85	1,8
23/56e	fenoc	borda	1160,85	5,1	36/91b	fenoc	centro	1203,85	5,8
23/56e	fenoc	borda	1143,85	7,7	36/91c	microfen	borda	1208,85	5,9
23/56d	fenoc	borda	1140,85	8,0	36/91c	microfen	centro	1211,85	6,2
23/56d	fenoc	centro	1161,85	4,7	36/91d	matriz	centro	1222,85	7,0
23/57a	fenoc	centro	1151,85	3,1	36/91a	fenoc	centro	1201,85	5,4
23/57a	fenoc	borda	1178,85	5,3	36/91a	fenoc	borda	1203,85	5,7
23/57b	microfen	centro	1196,85	6,5	36/93d	microfen	borda	1186,85	4,6
23/57c	matriz	centro	1186,85	5,4	36/93a	matriz	centro	1185,85	4,7
25/64f	matriz	centro	1182,85	8,5	36/93d	microfen	centro	1183,85	4,5

No *sill* de Irati foram analisadas apenas três amostras que exibem pressões variando de 3,7 a 7,1 kbar, refletindo cristalização em profundidade superior a 12 km.

No *sill* de Rebouças, as pressões variam de -0,2 a 10,1 kbar, onde podem ser distintos quatro intervalos barométricos. O primeiro compreende os cristais de plagioclásio formados em níveis crustais profundos (profundidade média igual a 30,8 km) sob condições de alta pressão (8,3 a 10,1 kbar). O segundo estágio compreende os cristais formados em níveis crustais mais rasos (profundidade média igual a 18,81 km) sob condições de pressões intermediárias (5,0 a 6,6 kbar). O terceiro engloba os cristais formados sob profundidades mais rasas (profundidade média igual a 11 km e pressões entre 2,6 a 4,2 kbar). O último engloba os cristais gerados sob condições de baixa pressão (-0,2 a 0,8 kbar), cristalizados em níveis crustais próximos da superfície (profundidade média estimada em 700 m).

No *sill* de Ponta Grossa, as pressões variam de 1,4 a 8,0 kbar, onde são distintos três intervalos barométricos, semelhantes aos intervalos reconhecidos no *sill* de Rebouças. O primeiro intervalo engloba os cristais de plagioclásio formados em níveis crustais profundos (profundidade média igual a 22,60 km) sob condições de alta pressão (6,2 a 8,0 kbar). O segundo estágio compreende os cristais formados em níveis crustais pouco mais rasos (profundidade média igual a 17 km) sob condições de pressões intermediárias (4,5 a 5,9 kbar). O último engloba os cristais gerados sob pressões mais amenas (1,4 a 2,4 kbar), cristalizados em níveis crustais mais próximos da superfície (profundidade média estimada em 6 km).

As estimativas de pressão analisadas em cristais da matriz variam entre 0,4 a 8,7 kbar, com predomínio na faixa entre 4 a 6 kbar. Quando comparadas com as estimativas obtidas em fenocristais/microfenocristais, verifica-se um decréscimo inferior a 1,0 kbar, sugerindo cristalização de fenocristais, microfenocristais e matriz em condições de pressão similares.

As estimativas de temperatura, obtidas a partir dos plagioclásios, variam de 1171,85° a 1266,85°C, com predomínio na faixa entre 1150° e 1200°C e média 1172,91°C (Figura 44, vide tabela 17). No *sill* de Reserva as temperaturas variam de 680,85° a 1200,85°C, onde a mais baixa temperatura corresponde à análise obtida em plagioclásio com intercrescimento granofírico. No *sill* de Prudentópolis, variam de 1140,85 a 1196,85°C. As temperaturas mais altas são registradas nos *sills* de Ponta

Grossa e Rebouças, cujos valores variam de 1160,85° a 1222,85°C e 1078,85 a 1266,85°C, respectivamente.

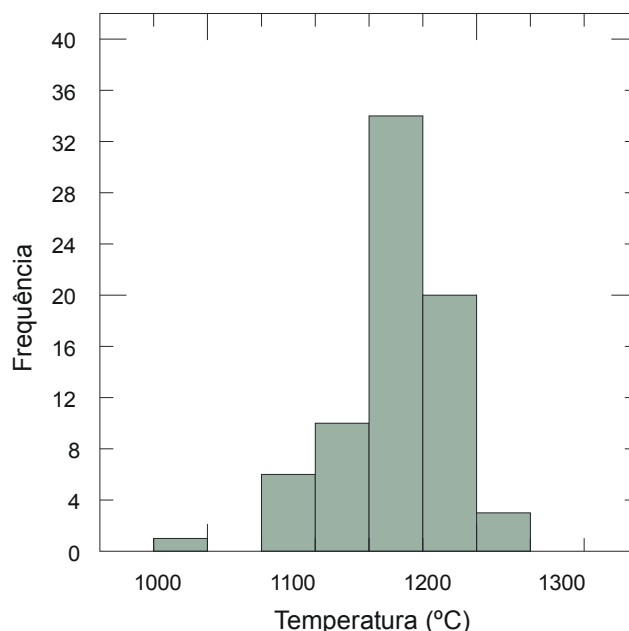


Figura 44 – Histograma de frequência para temperatura de cristalização dos plagioclásios para os *sills* estudados

A comparação entre as temperaturas obtidas em fenocristais com aquelas de microfenocristais revela temperaturas mais elevadas para os microfenocristais, superiores em até 81°C, conforme pode ser observado na Tabela 18. Entretanto, a maioria das temperaturas observadas registram pequenas variações, frequentemente inferiores a 20° C, o que sugere que a cristalização dos fenocristais e microfenocristais se deu em um mesmo intervalo de temperatura.

Analisando as temperaturas obtidas para o núcleo e borda dos cristais verifica-se um decréscimo variável de 1 até 112°C (Tabela 19), com média aproximada de 25°C para os *sills* de Reserva e Rebouças; 10°C para o *sill* de Prudentópolis e de -15°C para o *sill* de Ponta Grossa. O decréscimo médio geral corresponde a 11,73°C.

O acréscimo de temperatura do núcleo para a borda dos cristais, presentes em algumas amostras, pode ser decorrente do processo de recarga magmática, conforme descrito anteriormente para os clinopiroxênios.

Tabela 18 – Comparação entre as estimativas de temperatura obtidas em fenocristais e microfenocristais de plagioclásios, a partir do geotermômetro calibrado por Putirka (2005)

AMOSTRA	ANÁLISE	LOCALI ZAÇÃO	T (°C)	AMOSTRA	Análise	LOCALI ZAÇÃO	T (°C)	DIFERENÇA T FENOCRISTAIS E MICROFENOCRISTAIS
15/34h	fenoc	borda	1071,85	15/34e	microfen	borda	1072,85	-1
15/35b	fenoc	borda	1166,85	15/35a	microfen	borda	1186,85	-20
16/39e	fenoc	borda	1110,85	16/39d	microfen	borda	1177,85	-67
23/56e	fenoc	borda	1143,85	23/56e	microfen	borda	1160,85	-17
32/76a	fenoc	borda	1143,85	32/76b	microfen	borda	1172,85	-29
34/80c	fenoc	borda	1200,85	34/80e	microfen	borda	1266,85	-66
34/82a	fenoc	borda	1124,85	34/82d	microfen	borda	1122,85	2
35/89a	fenoc	borda	1209,85	35/89d	microfen	borda	1207,85	2
36/91a	fenoc	borda	1203,85	36/91c	microfen	borda	1208,85	-5
15/34h	fenoc	núcleo	1092,85	15/34e	microfen	núcleo	1110,85	-18
15/35b	fenoc	núcleo	1197,85	15/35a	microfen	núcleo	1187,85	10
16/39e	fenoc	núcleo	1195,85	16/39d	microfen	núcleo	1198,85	-3
23/56d	fenoc	núcleo	1161,85	23/56e	microfen	núcleo	1162,85	-1
23/57a	fenoc	núcleo	1151,85	23/57b	microfen	núcleo	1196,85	-45
32/76a	fenoc	núcleo	1168,85	32/76b	microfen	núcleo	1173,85	-5
34/80c	fenoc	núcleo	1181,85	34/80e	microfen	núcleo	1262,85	-81
34/82a	fenoc	núcleo	1180,85	34/82d	microfen	núcleo	1234,85	-54
35/89a	fenoc	núcleo	1160,85	35/89d	microfen	núcleo	1169,85	-9
36/91b	fenoc	núcleo	1203,85	36/91c	microfen	núcleo	1211,85	-8

Tabela 19 – Estimativas de temperatura de cristalização obtidas no núcleo e borda de fenocristais/microfenocristais de plagioclásios, a partir do geotermômetro calibrado por Putirka (2005)

SILL	AMOSTRA	TEMPERATURA NÚCLEO	TEMPERATURA BORDA	DIFERENÇA DE TEMPERATURA NÚCLEO-BORDA
Iratí	13/30a	1177,85	1200,85	-23
	15/34e	1110,85	1072,85	38
	15/34h	1092,85	1071,85	21
	15/35b	1197,85	1166,85	31
	15/35a	1187,85	1186,85	1
	15/36f	1194,85	-	
	15/36e	1187,85	1184,85	3
	16/39d	1198,85	1177,85	21
	16/39e	1195,85	1110,85	85
	19/44c	1166,85	1168,85	-2
	19/45f	1169,85	-	-
	19/46c	1146,85	-	-
Prudentópolis	23/56e	1162,85	1143,85	19
	23/56d	1161,85	1140,85	21
	23/57a	1151,85	1178,85	-27
	23/57b	1196,85	-	-
	25/64b	1167,85	-	-
	25/64c	1188,85	1186,85	2
Rebouças	14/32a	1078,85	1080,85	-2
	32/76b	1173,85	1172,85	1
	32/76a	1168,85	1143,85	25
	34/80e	1262,85	1266,85	-4
	34/80c	1181,85	1200,85	-19
	34/82a	1180,85	1124,85	56
	34/82d	1234,85	1122,85	112
Ponta Grossa	35/89d	1169,85	1207,85	-38
	35/89a	1160,85	1209,85	-49
	36/91b	1203,85	-	-
	36/91c	1211,85	1208,85	3
	36/91a	1201,85	1203,85	-2
	36/93d	1183,85	1186,85	-3

A temperatura de cristalização dos plagioclásios, obtida em cristais da matriz da rocha, varia de 992,85 a 1224,85°C, com média de 1169,14°C. As temperaturas mais altas são registradas no *sills* de Ponta Grossa e Prudentópolis, com média de 1203,85°C e 1184,85°C, respectivamente. No *sill* de Ponta Grossa a temperatura média da matriz é semelhante à média registrada na borda dos fenocristais/microfenocristais. No *sill* de Prudentópolis, a temperatura média da matriz é superior à temperatura do núcleo dos fenocristais em aproximadamente 13°C. Nos *sills* de Reserva e Rebouças, a temperatura média da matriz situa-se na faixa entre a temperatura de núcleo e a de borda (Tabela 20). Para o *sill* de Irati apenas uma análise foi realizada na matriz (13/30b) que forneceu temperatura de 1192,85°C.

Tabela 20 – Estimativas de temperatura de cristalização obtidas em cristais de plagioclásio constituintes da matriz da rocha, a partir do geotermômetro calibrado por Putirka (2005)

	RESERVA	PRUDENTÓPOLIS	REBOUÇAS	PONTA GROSSA
Temperatura (°C)	1187,85	1186,85	1071,85	1202,85
	1187,85	1182,85	1166,85	1222,85
	1148,85	-	1210,85	1185,85
	992,85	-	1191,85	-
	1147,85	-	1224,85	-
<b>Média</b>	1139,05	1184,85	1173,25	1203,85
<b>Desvio Padrão</b>	73,83	2,828	60,714	18,520

Quando projetados em diagramas binários, a temperatura de cristalização vs. a porcentagem do componente An (Figura 45), é obtida uma sobreposição considerável. Entretanto, é verificada uma correlação incipiente entre as amostras de menor conteúdo de anortita com as menores temperaturas, correspondentes a análises de borda dos fenocristais/microfenocristais. As amostras 15/35a, 19/44c,

34/82a, 34/82d e 36/91d apresentam acréscimo de anortita nas bordas em relação ao núcleo dos cristais.

Novamente, nas projeções em diagramas binários (Figura 46), as estimativas de temperatura e pressão apresentam boa correlação, especialmente para os *sills* de Ponta Grossa e Rebouças, com coeficientes de correlação significantes a um nível de 99,9%. Os demais *sills* são caracterizados por grande dispersão e baixa correlação entre temperatura e pressão. Quando consideradas as estimativas de temperatura e pressão de todos os *sills* estudados, o coeficiente de correlação obtido é significativo a um nível de 99,0%.

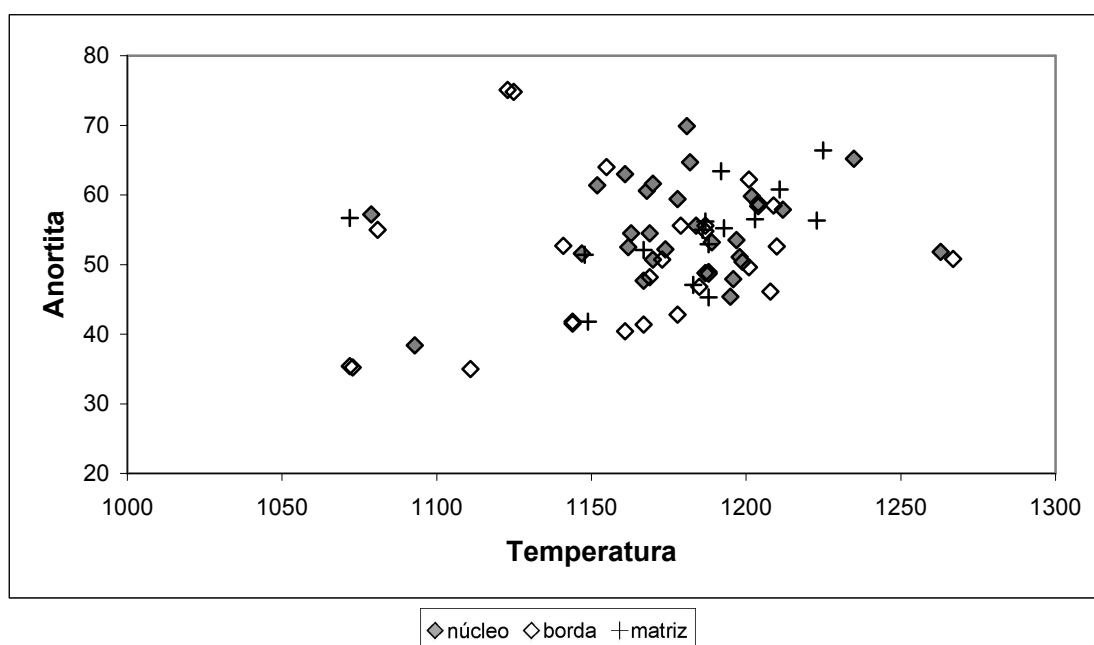


Figura 45 – Diagrama de variação temperatura vs. porcentagem do componente An (anortita), para núcleo e borda de fenocristais/microfenocristais e cristais da matriz.

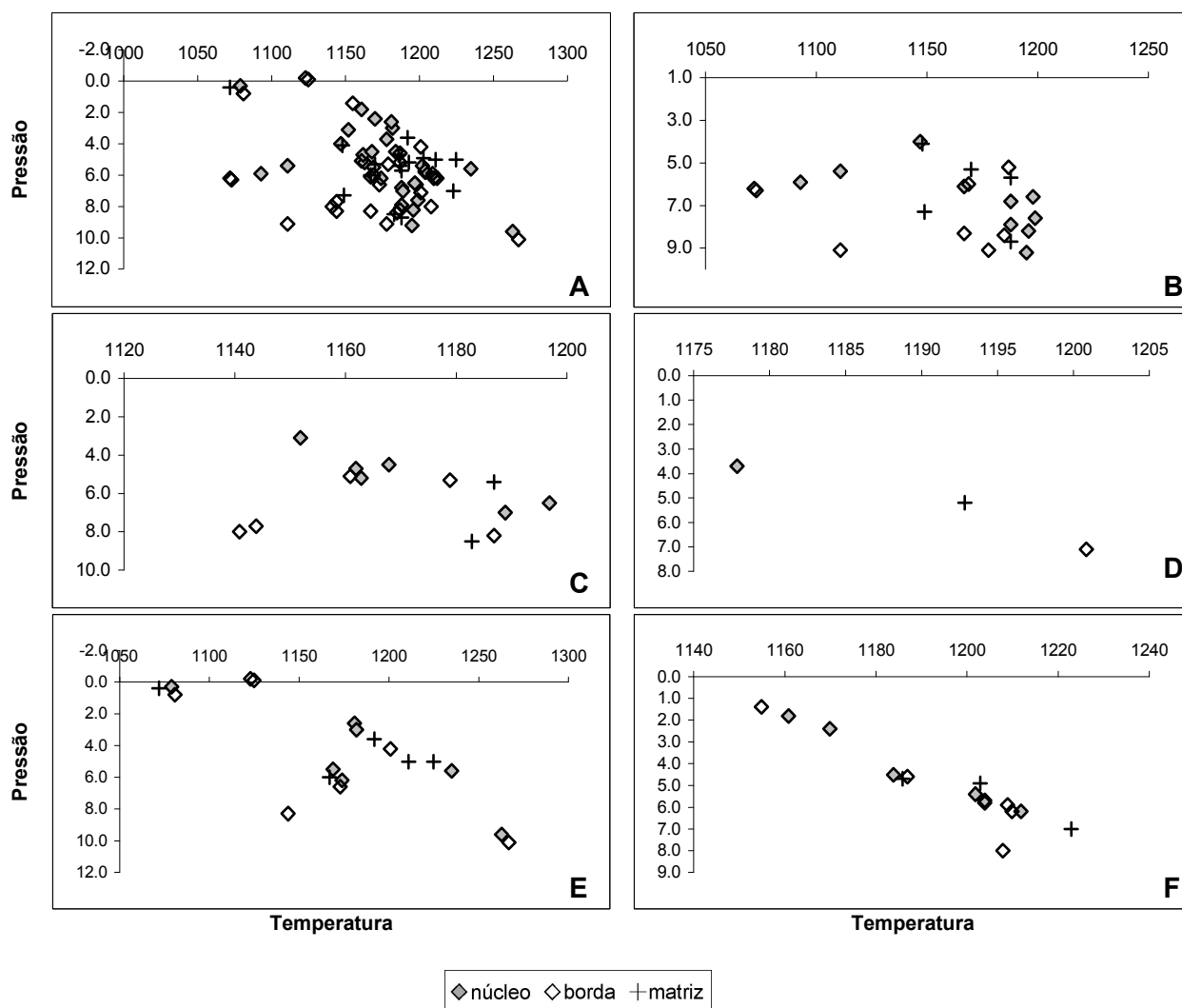


Figura 46 – Diagramas de variação temperatura vs. pressão para os sills estudados. Estimativas obtidas a partir de plagioclásios em núcleo e borda de fenocristais/microfenocristais e cristais da matriz. (A) Comparação entre todos os sills estudados; (B) sill de Reserva; (C) sill de Prudentópolis; (D) sill de Irati; (E) sill de Rebouças e (F) sill de Ponta Grossa

### 7.3 CONDIÇÕES DE CRISTALIZAÇÃO

Na maioria dos basaltos espera-se que o clinopiroxênio sature primeiro e que seja o primeiro mineral a cristalizar. Entretanto, quando comparadas as temperaturas e pressões obtidas a partir dos clinopiroxênios com aquelas obtidas a partir dos plagioclásios para os sills estudados (Figura 47), constata-se que os plagioclásios apresentam temperaturas e pressões mais elevadas, demonstrando que foram os primeiros minerais a cristalizar. Os clinopiroxênios, com temperaturas e pressões mais baixas, cristalizaram posteriormente.



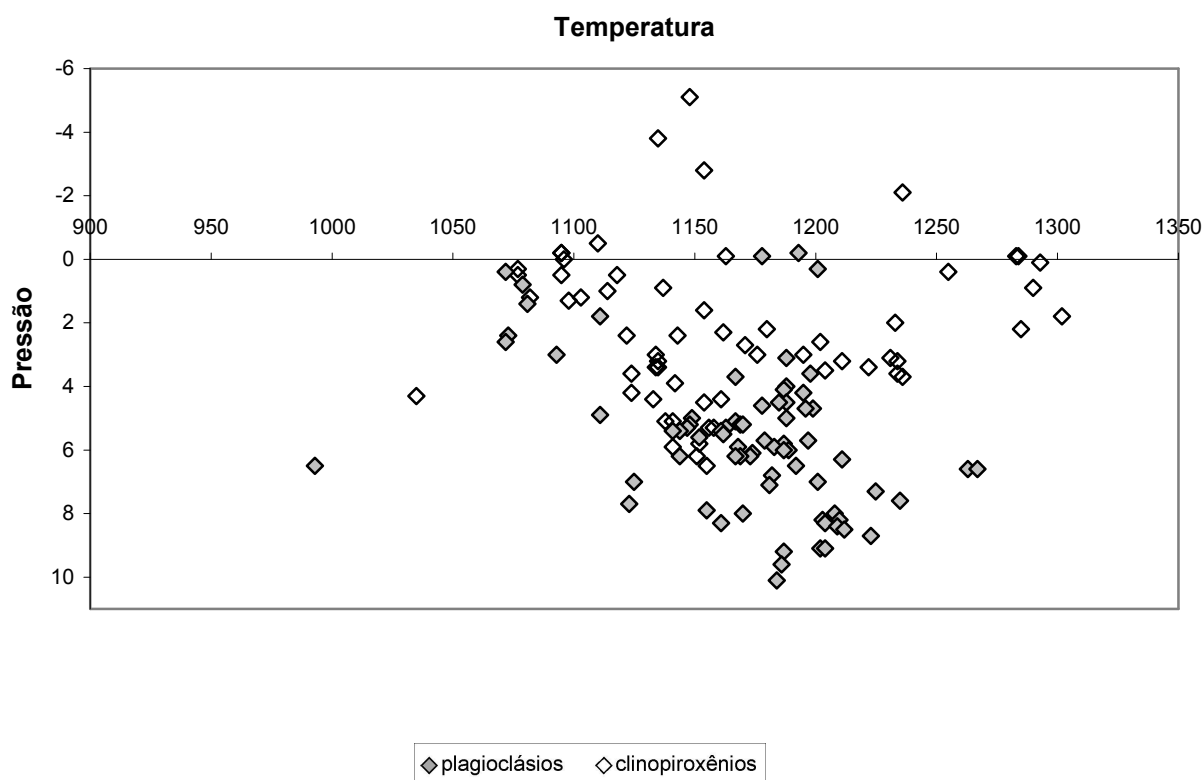


Figura 47 – Diagrama de variação temperatura vs pressão obtidas a partir de plagioclásios e clinopiroxênios para os *sills* estudados

No entanto, alguns cristais de clinopiroxênio exibem temperaturas ligeiramente maiores que aquelas registradas na maioria dos plagioclásios. Dentre estes, destacam-se os clinopiroxênios das amostras 13/30, 19/44, 23/56, 34/80, 34/82, 35/89, 36/91 e 36/93. Analisando as características petrográficas há uma correspondência direta entre as texturas e as estimativas de pressão e temperatura. Nas amostras 13/30, 19/44 e 23/56 ocorre textura intergranular com cristais de clinopiroxênio intersticiais aos de plagioclásio. Estes predominam em tamanho porém, alguns cristais de clinopiroxênio são ligeiramente maiores que os cristais de plagioclásio. Nas amostras 34/80 e 34/82 ocorre textura ofítica e nas amostras 35/89, 36/91 e 36/93 ocorre textura subofítica, os cristais de clinopiroxênio são grandes e possivelmente cristalizaram antes dos plagioclásios. O tamanho dos cristais e a textura da rocha estão intimamente relacionadas às condições de cristalização e explicam a variação de temperatura e pressão encontradas nos plagioclásios e clinopiroxênios.

As variações composicionais e texturais e a abundância de fenocristais nas rochas dos *sills* de Reserva, Prudentópolis, Irati, Rebouças e Ponta Grossa indicam variações nas condições de cristalização destes corpos, especialmente nas condições de temperatura e pressão. Estas variações refletem a cristalização dos plagioclásios e clinopiroxênios em ambientes distintos e requerem a existência de vários reservatórios magmáticos interligados. Estes reservatórios representam níveis até os quais os magmas ascenderam e iniciaram o processo de cristalização (Figura 48).

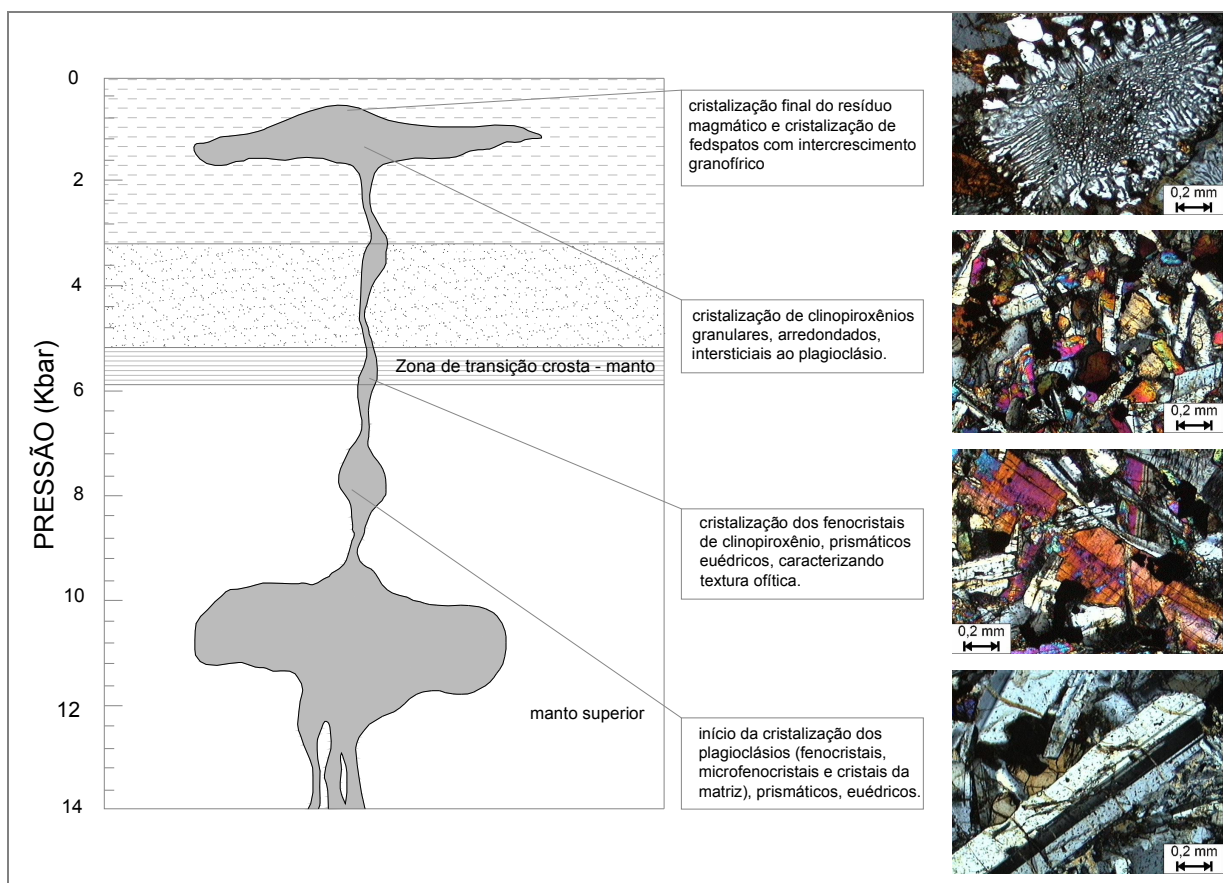


Figura 48 – Diagrama esquemático representando a cristalização dos plagioclásios e clinopiroxênios para os *sills* estudados

## 8 MODELAGEM BIDIMENSIONAL E TRIDIMENSIONAL

Os modelos bidimensionais e tridimensionais gerados são produtos da interpolação de valores obtidos a partir de análises químicas, nos quais é possível observar a distribuição espacial de diversos dados, como temperatura, índice de diferenciação, número de magnésio e concentração  $Ca/(Ca+Na)$ . O *sill* de Reserva, um dos mais estudados e expressivos *sills* do Estado do Paraná, foi selecionado para aplicação deste procedimento.

### 8.1 MODELAGEM TÉRMICA

A distribuição da temperatura e traçado das isotermas são realizados para verificar a distribuição térmica e diagnosticar a concentração de regiões quentes no corpo intrusivo, com o intuito de associá-las ao processo de geração e maturação da matéria orgânica geradora de hidrocarbonetos.

O mapa de isotermas foi construído com base nas temperaturas obtidas em plagioclásios (Tabela 21) a partir de amostras de rochas coletadas em diferentes pontos dentro do corpo intrusivo (Figura 49).

O mapa revela predomínio de temperaturas entre 1100 e 1200°C (Figura 50). As temperaturas mais elevadas ocorrem no centro do corpo intrusivo, onde chegam a ultrapassar 1200°C. Na porção sudoeste do corpo são registradas as temperaturas mais baixas, inferiores a 1100°C. A faixa mais quente, detectada no centro do corpo, pode ser decorrente de um segundo pulso magmático. Na Figura 51 é apresentado o modelo tridimensional de temperatura. O modelo apresenta pouca variação vertical da variável analisada, possivelmente associada ao reduzido número de análises obtido em profundidade. Os principais controles verticais são registrados nos afloramentos E-15, E-19, AR-19, AR-20, AR-23, AR-30 e AR-35. No afloramento AR-35, cachoeira com aproximadamente 100 m de queda livre, a amostragem foi realizada regularmente, com espaçamento aproximado de 15 m entre cada ponto de coleta. Neste perfil verifica-se um decréscimo de temperatura da borda (topo da cachoeira, amostras AR-35/65 e AR-35/66) em direção ao centro do corpo (base da

cachoeira). O decréscimo persiste por aproximadamente 60 m, quando inicia-se um acréscimo de temperatura (Figura 52).

Tabela 21 – Estimativas de temperatura de cristalização de plagioclásios para o *sill* de Reserva a partir dos geotermômetros calibrados por Putika (2005)

AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)	AMOSTRA	TEMPERATURA (°C)
AR-01/01	1141,85	AR-33/63	1166,85
AR-09/17	1174,85	AR-34/64	1147,85
AR-12/19	1213,85	AR-35/65	1187,85
AR-17/40	1182,85	AR-35/66	1258,85
AR-18/41	1118,85	AR-35/67	1190,85
AR-19/43	1164,85	AR-35/68	1116,85
AR-19/44	1168,85	AR-35/69	1099,85
AR-20/45	1144,85	AR-35/70	1153,85
AR-20/46	1153,85	AR-35/71	1178,85
AR-21/57	1166,85	E-03/06	1183,85
AR-22/48	1137,85	E-18/41	1132,85
AR-23/50	1185,85	E-21/54	1213,85
AR-24/51	1182,85	E-22/55	1266,85
AR-25/52	1156,85	E-15/34	1088,85
AR-26/53	1195,85	E-15/35	1191,85
AR-27/54	1140,85	E-15/36	1189,85
AR-28/56	1141,85	E-16/39	1182,85
AR-30/59	1216,85	E-19/44	1167,85
AR-30/60	1149,85	E-19/45	1128,85
AR-31/61	1168,85	E-19/46	1146,85
AR-32/62	1112,85		



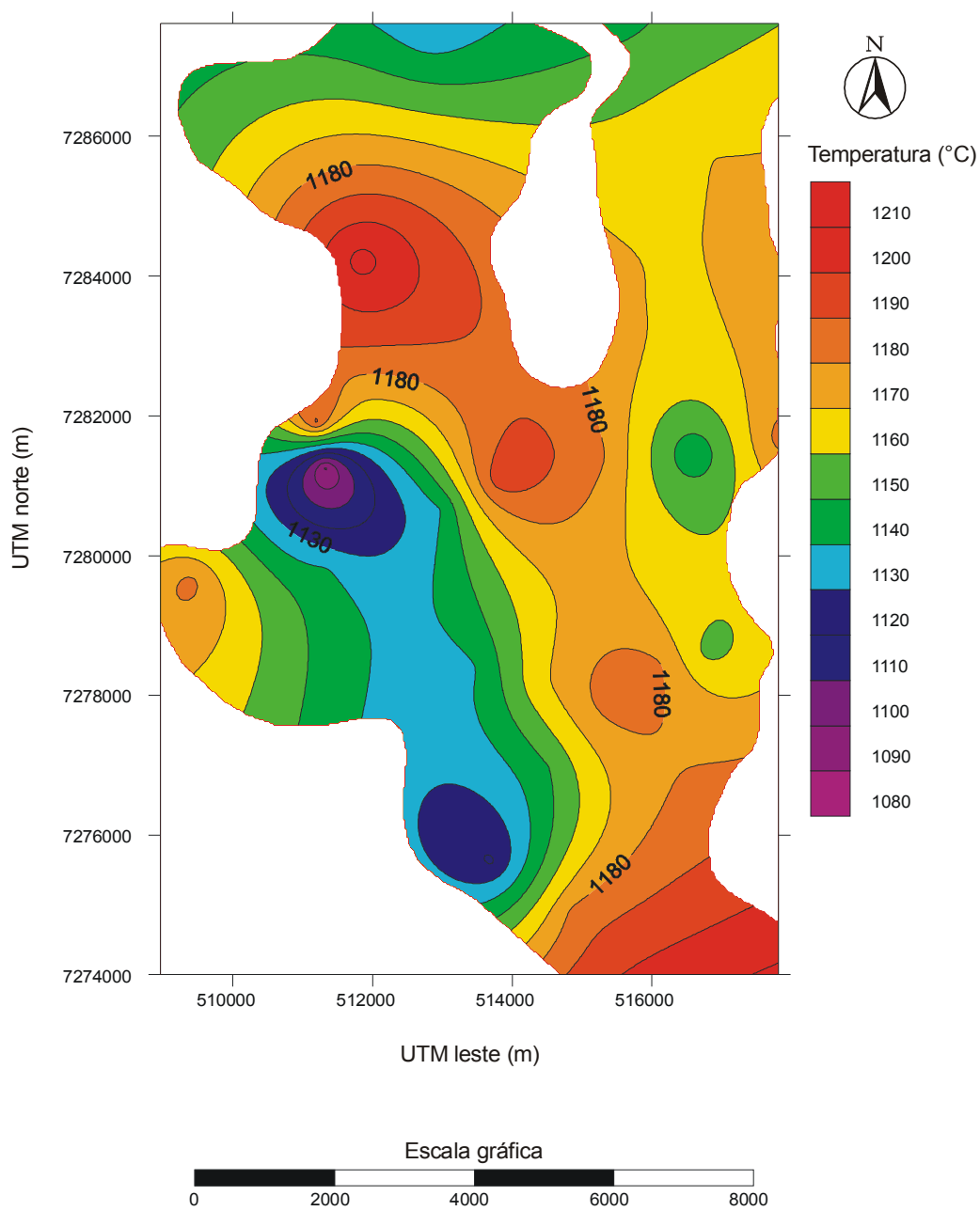


Figura 50 – Mapa de isotermas construído para o *sill* de Reserva

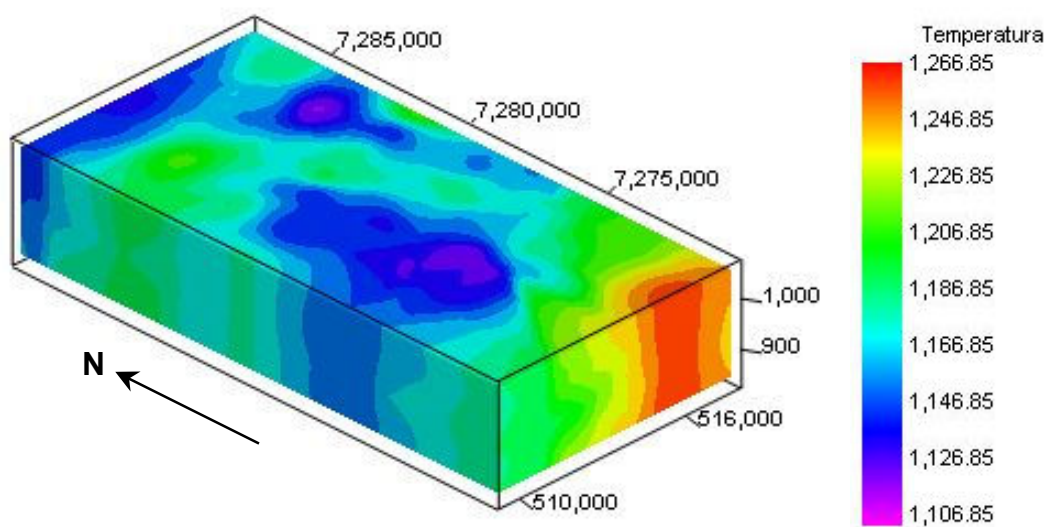


Figura 51 - Sólido mostrando a distribuição térmica para o *sill* de Reserva (sobreelevação 15X)

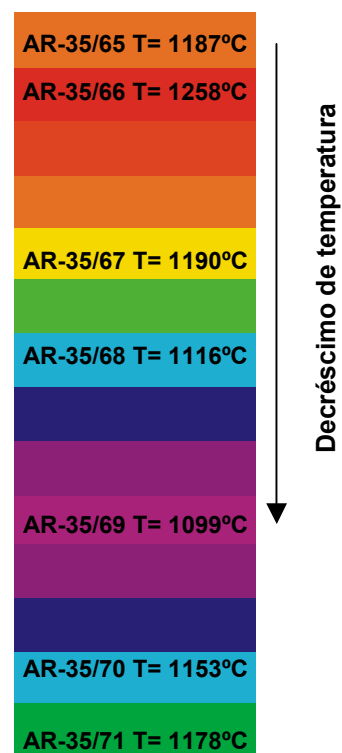


Figura 52 – Seção mostrando a distribuição térmica no ponto AR-35 (cachoeira, fotografia ao lado) para o *sill* de Reserva

## 8.2 MODELAGEM DE VARIÁVEIS GEOQUÍMICAS

Além dos modelos de distribuição térmica, foram construídos modelos bidimensionais de variáveis geoquímicas, como ID (índice de diferenciação),  $mg\#$  ( $MgO/(MgO+FeO)$ ) e concentração de  $Ca/(Ca+Na)$ . O ID, proposto por Thornton e Tuttle (1960), utiliza minerais normativos ( $ID = Q + Or + Ab + Ne + Ks + Lc$ ). Estas variáveis, obtidas em análise de rocha total, são apresentadas na Tabela 22.

No mapa de isovalores construído para o ID verifica-se variação de 52 a 62 (Figura 53). Na porção leste é verificada a porção menos diferenciada do corpo intrusivo, com ID inferior a 55. Nas porções sudoeste e norte são registradas as faixas mais diferenciadas do *sill*, com ID superior a 59. Na faixa centro-sul verifica-se pouca variação com ID entre 55 a 57.

O mapa de isovalores da concentração  $Ca/(Ca+Na)$  na rocha é semelhante ao mapa de distribuição do ID, com maior concentração na faixa leste e porções de baixa concentração nas regiões norte e sudoeste da área (Figura 54).

O número de magnésio ( $MgO/(MgO+FeO)$ ) na rocha varia de 27 a 46, com predomínio na faixa entre 33 a 41. As concentrações anômalas são verificadas nas regiões nordeste e oeste do *sill* (Figura 55). Na porção nordeste são constatados os valores mais elevados ( $>42$ ) e na região oeste, os mais baixos ( $<30$ ).

Quando comparados os modelos gerados verifica-se uma correspondência direta entre as variáveis analisadas, onde as regiões de maior temperatura são correspondentes às regiões menos diferenciadas, de maior  $mg\#$  e maior concentração de  $Ca/(Ca+Na)$ .



Tabela 22 – Variáveis geoquímicas utilizadas na construção dos modelos bidimensionais

AMOSTRA	mg#	Ca/(Ca+Na)	ÍNDICE DE DIFERENCIAÇÃO
AR - 01/01	39,76	61,00	58,55
AR - 09/17	38,05	62,66	55,96
AR - 12/19	35,53	64,98	59,17
AR - 17/40	36,34	62,2	56,44
AR - 18/41	26,79	53,71	62,95
AR - 19/43	37,25	62,35	56,69
AR - 19/44	39,43	65,50	52,28
AR - 20/45	40,71	57,98	55,89
AR - 20/46	41,13	58,93	55,41
AR - 21/47	41,54	62,12	55,28
AR - 22/48	39,73	60,75	56,3
AR - 23/50	36,89	62,01	56,4
AR - 24/51	37,21	62,01	56,95
AR - 25/52	36,82	62,98	53,05
AR - 26/53	35,58	58,87	61,26
AR - 27/54	38,59	60,94	57,82
AR - 28/56	32,53	57,03	61,8
AR - 30/59	38,73	63,47	55,75
AR - 30/60	50,01	66,99	48,43
AR - 31/61	40,37	61,56	58,26
AR - 32/62	28,23	57,96	56,88
AR - 33/63	37,42	59,54	58,65
AR - 34/64	39,28	57,55	56,55
AR - 35/65	38,57	64,54	54,47
AR - 35/66	40,47	63,25	58,54
AR - 35/67	47,20	67,68	52,57
AR - 35/68	53,45	69,20	44,39
AR - 35/69	54,85	69,88	42,58
AR - 35/70	48,27	67,21	49,16
AR - 35/71	43,25	64,08	53,69
E-03/06	41,71	59,23	55,86
E-18/41	35,50	55,10	62,66
E-21/54	40,27	59,89	61,72
E-22/55	40,74	62,14	57,03
E-15/34	17,44	45,95	69,27
E-15/35	40,89	60,90	57,41
E-15/36	41,02	60,22	57,71
E-16/39	35,52	59,19	59,82
E-19/44	41,53	58,98	57,92
E-19/45	40,66	57,41	58,27
E-19/46	40,82	57,36	59,15

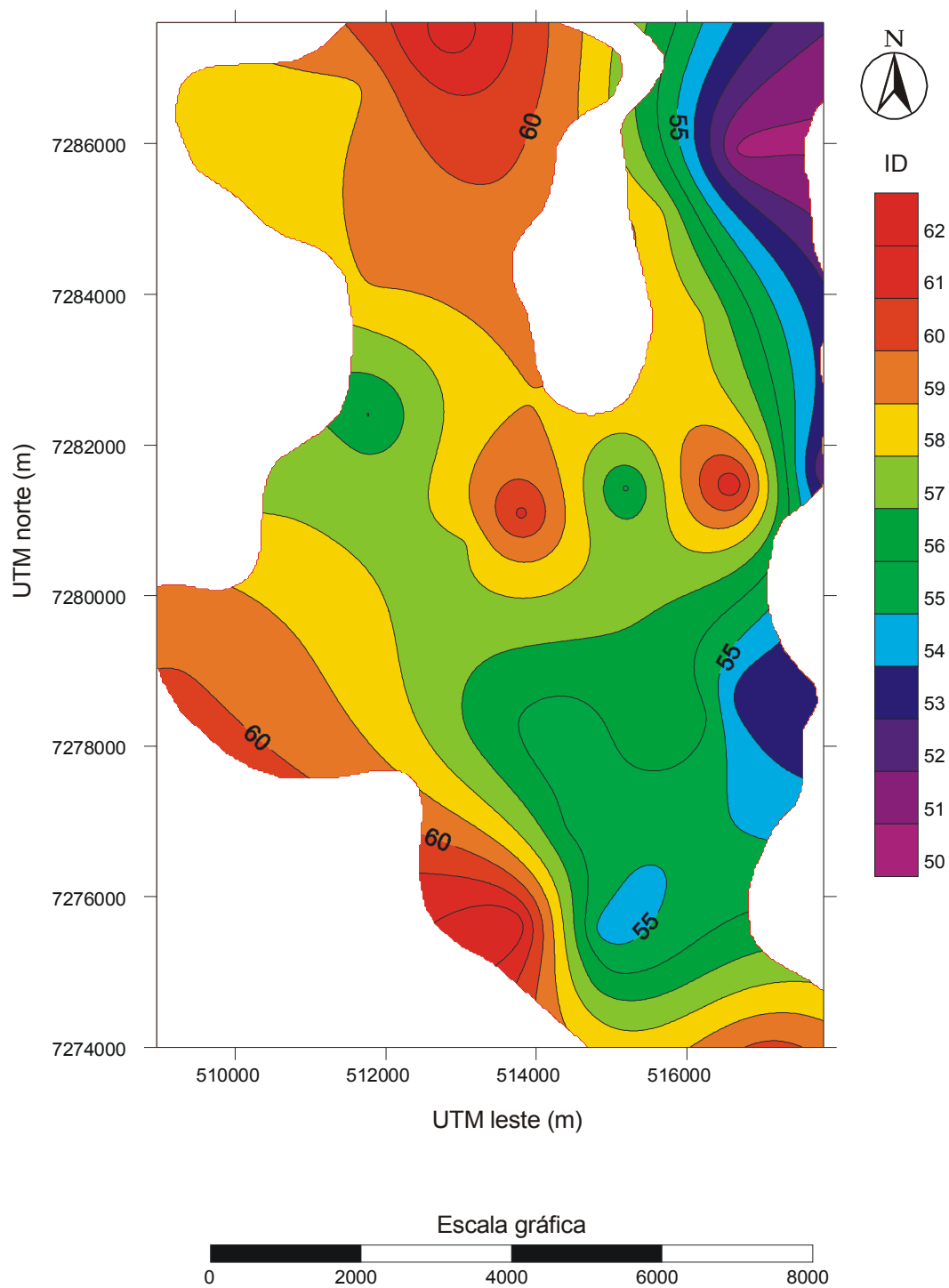


Figura 53 – Modelo de distribuição do índice de diferenciação para o silt de Reserva

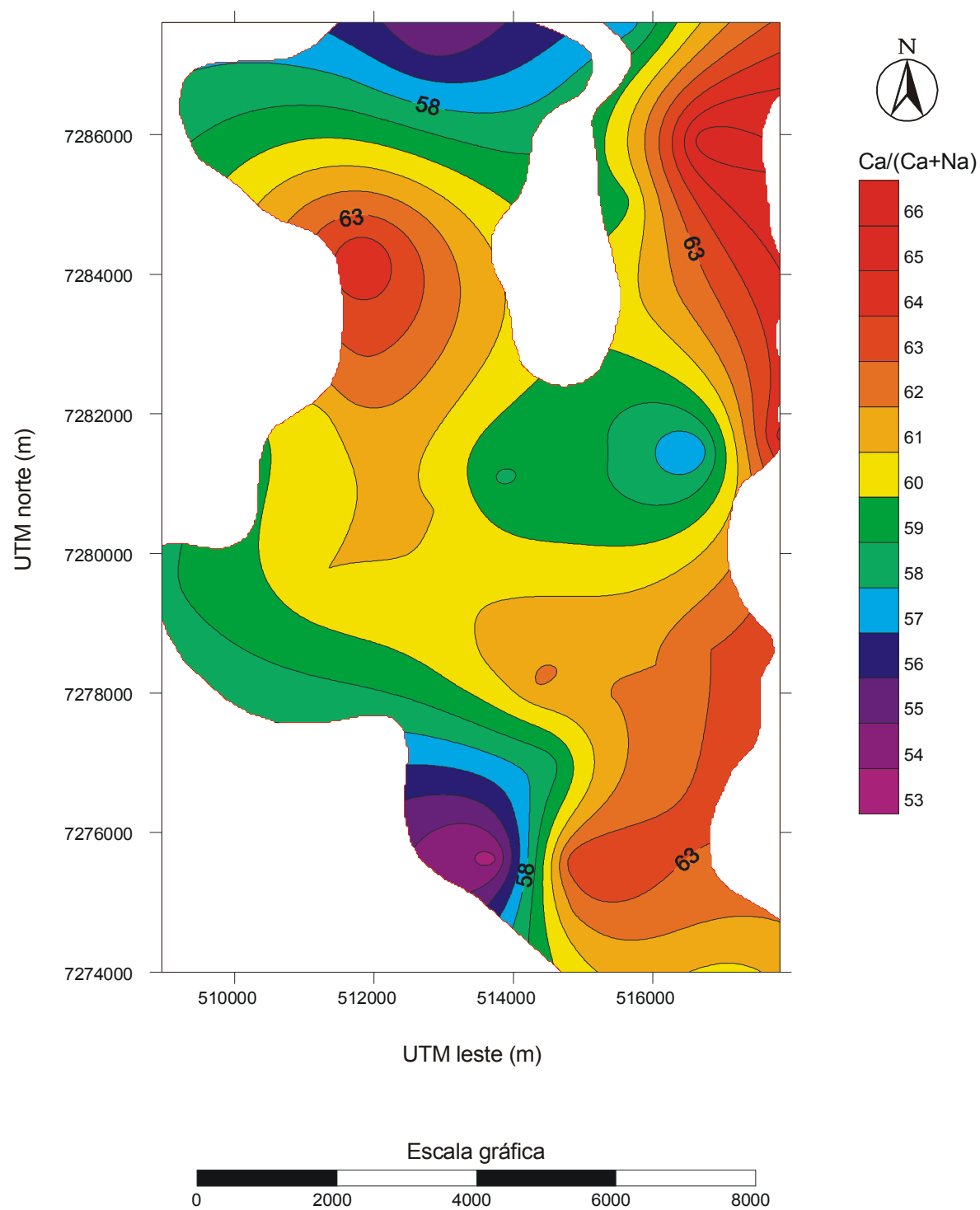


Figura 54 – Mapa de distribuição da concentração  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na})$  para o *sill* de Reserva

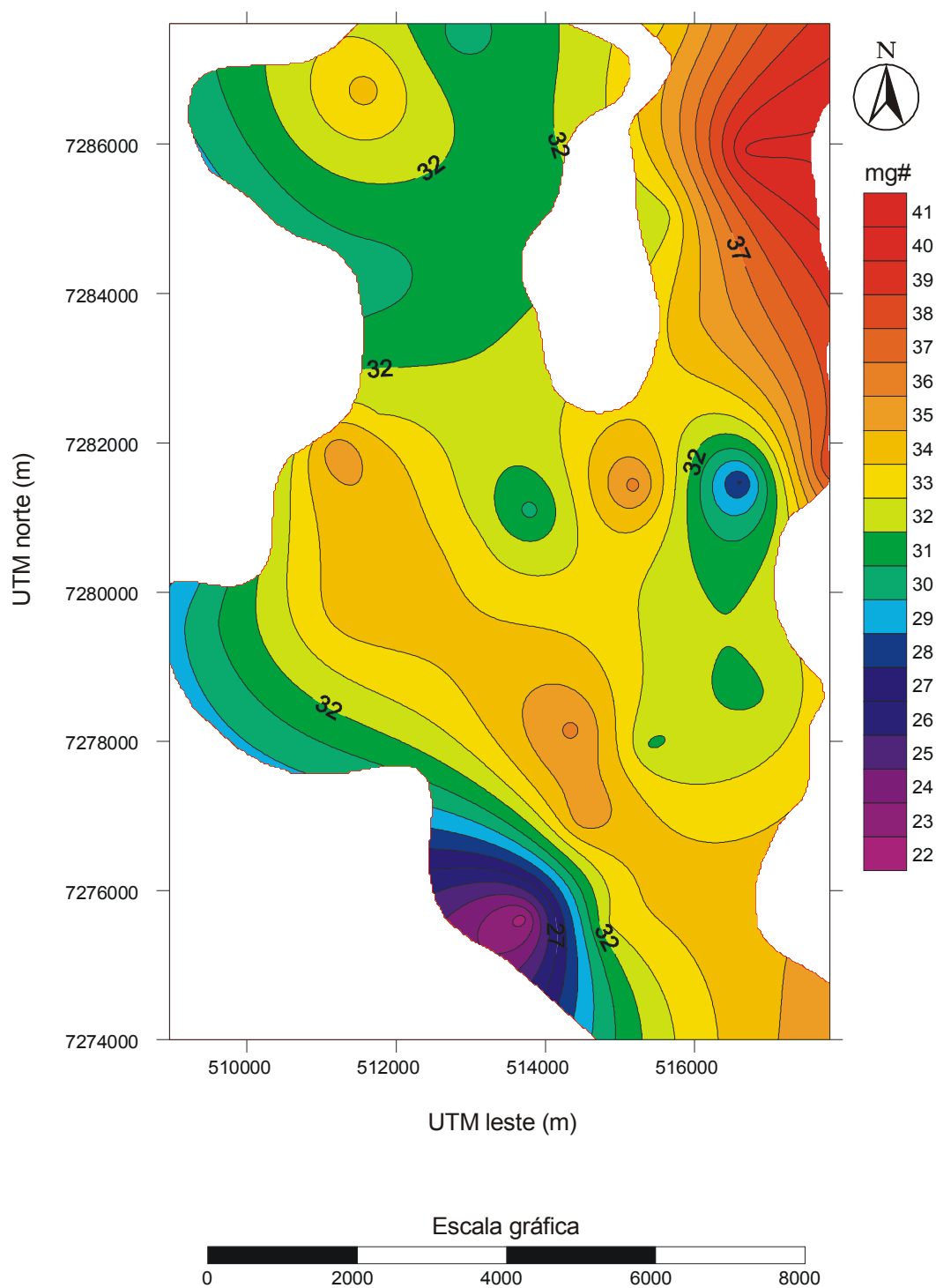


Figura 55 – Mapa de distribuição do número de magnésio para o sill de Reserva

## 9 CONCLUSÕES

- ✓ Os plagioclásios apresentam composição variável de oligoclásio a bitownita, com predomínio de labradorita. O componente Or (ortoclásio) é superior a 0,5% chegando a um máximo de 5%, estando de acordo com a concentração de  $K_2O$  na rocha (0,42 a 3,75%). Os plagioclásios mostram correlação negativa entre os componentes An (anortita) e Or (ortoclásio), indicando o enriquecimento em  $K_2O$  nos líquidos magmáticos finais.
- ✓ Os clinopiroxênios são classificados como cálcicos, variando de alto cálcio em cristais de augita e baixo cálcio em cristais de pigeonita. Em diagramas Ca-Mg-Fe convencionais, os cristais de augita de litotipos básicos e intermediários definem um *trend* paralelo àqueles de Skaergaard, enquanto que os cristais de pigeonita coexistentes mostram enriquecimento em Fe.
- ✓ Os cálculos de balanço de massa comprovam a viabilidade do processo de cristalização fracionada para explicar a evolução dos litotipos básicos e intermediários existentes em todos os *sills* investigados.
- ✓ As pressões registradas nos clinopiroxênios variam entre -5,0 e 6,50 kbar e refletem a cristalização em diferentes níveis crustais, com profundidades de até 21,4 km. As pressões registradas nos cristais da matriz são inferiores àquelas registradas em fenocristais e microfenocristais em aproximadamente 1 kbar. As pressões registradas em plagioclásios variam de -0,2 a 10,1 kbar e indicam, novamente, cristalização em diferentes níveis crustais. A profundidade de cristalização chega a atingir 33,33 km. A análise das pressões obtidas em clinopiroxênios e plagioclásios sugere cristalização prévia dos plagioclásios.

- ✓ Em diagramas binários, temperatura vs. pressão, verifica-se que os *sills* de Ponta Grossa e Rebouças, situados mais a leste, são caracterizados pelas pressões mais elevadas e pelos magmas mais primitivos.
- ✓ As temperaturas obtidas em clinopiroxênios, estimadas através do geotermômetro calibrado por Putirka *et al.* (2003), variam de 932,85 a 1301,85°C e são similares às obtidas pelo geotermômetro de Lindsley e Anderson (1983). Fenocristais, microfenocristais e cristais da matriz apresentam pouca variação de temperatura. Entretanto, diferenças de temperatura são verificadas entre núcleo e borda de fenocristais e microfenocristais, variando de 1 a 102°C. Estas variações refletem variações na taxa de resfriamento do magma.
- ✓ As temperaturas obtidas em plagioclásios variam de 992,85 a 1266,85°C, com pouca variação entre fenocristais, microfenocristais e cristais da matriz. As diferenças verificadas entre borda e núcleo de fenocristais e microfenocristais variam de 1 a 112°C.
- ✓ As temperaturas mais elevadas são registradas nos *sills* de Rebouças e Ponta Grossa, condizente com o quimismo observado nas rochas, cujos teores de MgO atingem 7,0%. O *sill* de Reserva apresenta as temperaturas mais baixas obtidas (inferiores a 1150°C) e o maior gradiente, com variações de até 400°C. As menores temperaturas são registradas em feldspatos com intercrescimento granofírico (680°C). Apesar das temperaturas elevadas observadas nos *sills* de Rebouças e Ponta Grossa, é provável que o *sill* de Reserva tenha causado as maiores transformações composicionais nas rochas encaixantes pois, o *sill* de Reserva apresenta um volume aproximado de 26 km<sup>3</sup>, satisfazendo melhor a relação volume vs. temperatura. Segundo Biondi (2005, comunicação verbal) um *sill* de pequeno volume, mesmo cristalizado a elevada temperatura, aquecerá menos as encaixantes de que um outro *sill* de grande volume, que tenha cristalizado a temperaturas mais baixas. De acordo com Biondi (*op cit.*) é importante analisar a relação volume vs.

temperatura para avaliar quanto as rochas encaixantes são aquecidas na presença de um corpo intrusivo.

- ✓ As temperaturas registradas em clinopiroxênios e plagioclásios estão de acordo com as temperaturas registradas nas rochas encaixantes. Estudos desenvolvidos por Girardi *et al.* (1978) para avaliar os efeitos termais promovidos por intrusões de *sills* e diques na Formação Irati permitiram estimar o clímax do evento térmico em 740-820°C. Estudos realizados por Santos *et al.* (2003) no horizonte potencialmente gerador de hidrocarbonetos da Formação Irati nos estados do Paraná, Goiás e Rio Grande do Sul sugerem temperaturas superiores a 900°C. De acordo com Hydman (1972), as temperaturas decorrentes do metamorfismo de contato alcançam 100-300°C abaixo da temperatura do magma.
- ✓ Os modelos de distribuição térmica gerados apontam uma faixa de maior temperatura no centro do corpo intrusivo. Esta faixa pode ser decorrente de um segundo pulso magmático. De acordo com Wernick (2003), a cristalização procede da borda para o interior da câmara magmática, pois as zonas marginais são mais frias que a região central. A formação de cristais próximos às paredes do reservatório expela o líquido coexistente para o interior da câmara promovendo o fracionamento magmático. Verifica-se uma correspondência entre o modelo de distribuição térmica e os demais modelos gerados (ID, *mg#* e  $Ca/(Ca+Na)$ ).
- ✓ O modelo de distribuição do índice de diferenciação (ID) gerado para o *sill* de Reserva revela a presença de uma zona menos diferenciada na faixa leste do corpo, sugerindo que a evolução magmática se processou de leste para oeste. Esta observação é concordante com as variações na concentração de MgO registradas no corpo magmático, elevada (até 8,0%) na faixa leste com decréscimo para oeste, onde são verificadas concentrações inferiores a 2,0%.

- ✓ A integração dos ensaios geotermobarométricos e de modelagem indicam que a evolução do *sill* de Reserva se processou em dois pulsos magmáticos, diagnosticados pela presença de uma faixa mais quente no centro do corpo intrusivo e pelo gradiente térmico observado. A presença de feldspatos com intercrescimento com quartzo representam os estágios tardios da diferenciação magmática, conforme relatado por Bellieni *et al.* (1984b).



## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. M.; TRIGÜIS, J. A.; CERQUEIRA, J. R.; FREITAS, L.C. The atypical Permian Petroleum System of the Paraná Basin, Brazil. **AAPG Memoir**, USA, v.73, p. 377-402, 2000.

ARTUR, P. C. **Paleolineamentos na Bacia do Paraná**: Favorabilidade para acumulações de petróleo. Curitiba, 1998. 202 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

ARTUR, P. C.; SOARES, P. C.; ROSTIROLLA, S. P. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7., 1999, Lençóis. **Anais...** Lençóis: SBG, 1999. p. 77.

ASMUS, E. H. Notícia preliminar sobre a ocorrência de estrutura amigdaloidal em *sill* de diabásio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 20., 1966, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1966. p. 67-89.

BAUDINO, R.; MONREAL, R.; ZENCICH, S.; CALEGARI, R. Generation of Hydrocarbons by Thermal Effect of Magmatic Intrusions: A Non-conventional Petroleum System. In: CONGRESO ALAGO, 9., 2004, México. **Anais eletrônicos...** Disponível em <[http://www.beicip-inc.com/\\_rainbow/documents/ALAGO\\_Merida2004.pdf](http://www.beicip-inc.com/_rainbow/documents/ALAGO_Merida2004.pdf)> Acesso em: 25 out. 2005.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G.; PICCIRILLO, E. M. Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná Plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. **Journal of Petrology**, Chicago, v. 25, n. 3, p.579-618, 1984a.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; STOLFA, D. Low-pressure evolution of basalts sills from boreholes in the Paraná Basin, Brazil. **TMPM**, v. 33, p. 25-47, 1984b.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J.; NARDY, A. J. R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E. M.; ROISEMBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. **Journal of Petrology**, Chicago, v. 27, n. 4, p. 915-944, 1986.

BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.; Da ROIT, P. Mineral chemistry of continental stratoid volcanics and related intrusives from the Paraná Basin. In: PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin - petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: USP, 1988. p.73-92.

CPRM. **Projeto Leste do Paraná**. São Paulo, 1977.

CORDANI, U. G.; VANDOROS, P. Basaltic rocks of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. Curitiba: UFPR, 1967. p. 207-223.

COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. **The interpretation of igneous rocks**. 1. Ed. London: Unwin Hyman, 1979.

DAMASCENO, D.; SCOATES, J. S.; WEIS, D.; FREY, F. A.; GIRET, A. Mineral chemistry of mildly alkalic basalts from the 25 Ma Mont Crozier Section, Keguerlem Archipelago: constraints on phenocryst crystallization environment. **Journal of Petrology**, USA, v. 43, n. 7, p. 1389-1413, 2002.

DAVINO, A.; SINELLI, O.; SOUZA, A.; CORREIA, C. T. Diabásios na região nordeste da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. p. 1736-1744.

DEER, A. A. W.; HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas - uma introdução**. Lisboa: Logmans, Green and Co. Ltd., 2003.

ERNESTO, M.; RAPOSO, M. I. B.; MARQUES, L. S.; RENNE, P. R.; DIOGO, L. A.; MIN, A. de. Paleomagnetism, geochemistry and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the north-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. **Journal of Geodynamics**, n. 28, p. 321-340, 1999.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A. Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 195-205, 1996.

FODOR, R. V.; CORWIN, C. T.; ROISEMBERG, A. Petrology of Serra Geral (Paraná) continental flood basalts, southern Brazil: crustal contamination, source material, and South Atlantic magmatism. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, Alemanha, v. 91, p. 54-65, 1985.

FRANÇA, A. B.; POTTER, P. E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise do reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 147-191, 1988.

GIRARDI, V. A. V.; MELFI, A. J.; AMARAL, S. E. Efeitos termais associados aos diabásios mesozóicos da Bacia do Paraná. **Boletim IG-USP**, São Paulo, v. 9, 1978.

GOMES, M. E. B. **Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná – região de Frederico Westphalen (RS) – Brasil**. Porto Alegre, 1996. 219 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GOULART, E. P.; JARDIM, N. S. Avaliação geoquímica das formações Ponta Grossa e Irati - Bacia do Paraná. In: PAULIPETRO - consórcio CESP-IPT. Geologia da Bacia do Paraná: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos. São Paulo, p. 41-74, 1982.

HAWKESWORTH, C. J., MANTOVANI, M. S. M., PEATE, D. W. Lithosphere remobilisation during Paraná CFB magmatism. **Journal of Petrology**, Chicago, special volume, p. 205-223, 1988.

HYDMAN, D. W. **Petrology of igneous and metamorphic rocks**. USA:McGraw-Hill Book Company, 1972.

IBGE. **Carta topográfica de Ponta Grossa**. Brasília: SEPLAN, 1983. 1 mapa: colorido; 64 x 76 cm, 1:250.000.

JIN, Q.; XIONG, S.; LU, P. Catalysis and hydrogenation: volcanic activity and hydrocarbon generation in rift basins, eastern China. **Applied Geochemistry**, v.14, p. 547-558, 1999.

LEAKE, B. E. Nomenclature of amphiboles. **Min. Mag.**, v. 42, p. 533-565, 1978.

LE MAITRE, R. W. **A Classification of Igneous Rocks and Glossary of terms**. Great Britain: Blackwell Sci. Pub., 1989.

LINDSLEY, D. H.; ANDERSON, D. J. A. Two-pyroxene thermometer. **Journal Geophysical Research**, v.88, p. 887-906, 1983.

MANIESI, V. **Petrologia das soleiras de diabásio de Reserva e Salto do Itararé – PR**. Rio Claro, 1991. 117f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista.

MANTOVANI, M. S. M.; CORDANI, U. G.; ROISEMBERG, A. Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná, e implicações genéticas associadas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 61-65, 1985.

MANTOVANI, M. S. M.; PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J. Geochemical stratigraphy of Paraná continental flood basalts: a contribution from borehole samples. IN: PICCIRILLO, E. M., MELFI, A. J. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin - petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo, USP, 1988, p.15-24.

MELFI, A. J.; GIRARDI, V. A. V. Ocorrência de um *sill* de diabásio no arenito Botucatu, município de Igarapava, SP. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 55-70, 1962.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITONEVES, B. B. **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca Produções Culturais, 2004. 265-279.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 69-82, 1994.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 527-544, 1998.

MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. Sedimentary Basins of South América. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro, In-Fólio Produção Editorial, 2000. p. 389-449.

MINEROPAR. **Projeto Carvão – área a sul do Arco de Ponta Grossa**. Curitiba: UFPR, 1983. Relatório técnico.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001. 1 CD-ROM.

MINEROPAR. **Cartas Geológicas do Estado do Paraná**. Curitiba, 2005. 1 CD-ROM.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. **Folha topográfica de Irati**. Rio de Janeiro: Diretoria de Serviço Geográfico – 5º DL, 1989a. 1 mapa: colorido, 72 x 56 cm, 1:50.000.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. **Folha topográfica de Rebouças**. Rio de Janeiro: Diretoria de Serviço Geográfico – 5º DL, 1989b. 1 mapa: colorido, 72 x 56 cm, 1:50.000.

MORIMOTO, N. Nomenclature of Pyroxenes. **Min. Mag**, v. 52, p. 535-50, 1988.

NARDY, A. J. R.; PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A. J.; BELLINI, G.; OLIVEIRA, M. A. F. Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: região centro-sul do Estado do Paraná. **Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 275-313, 1993.

OLIVEIRA, M. A. M. de. Possibilidades de geração e migração tardias de petróleo na Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v.3. p.139-157.

PEATE, D. W. The Paraná–Etendeka province. IN: MAHONEY, J. J. e COFFIN, M. F. **Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic and Planetary Flood Volcanism**. Washington, DC: American Geophysical Union, 1997, p. 217–245.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M.; SHUKOWSKY, W. Mantle plumes and flood-basalt stratigraphy in the Paraná, South America. **Geology**, USA, v. 18, p. 1223-1226, 1990.

PEATE, D. W.; MANTOVANI, M. S. M.; HAWKESWORTH, C. J.; Geochemical stratigraphy of the Paraná continental flood basalts: borehole evidence. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 212-221, 1996.

PETERSOHN, E.; VASCONCELLOS, E. M. G. Estudo petrográfico das rochas ígneas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e sua influência no Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito/Pirambóia. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2003, Curitiba. **Livro de Resumos**. Curitiba: Editora da UFPR, 2003, p.65.

PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.; STOLFA, D.; BELLINI, G.; MARQUES, L. S.; GIARETTA, A.; NARDY, A. J. R.; PINESE, J. P. P.; RAPOSO, M. I. B.; ROISEMBERG, A. Petrochemistry of continental flood basalts - rhyolite suites and related intrusives from the Paraná Basin (Brazil). In: PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J. **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin - petrogenetic and geophysical aspects**. São Paulo: USP, 1988, p.107-156.

PICCIRILLO, E. M.; RAPOSO, M. I. B.; MELFI, A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, K. Bimodal fissural volcanic suites from the Paraná Basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry. **Geochimica Brasiliensis**, São Paulo, v.1, n.1, p.53-69, 1987.

PICCIRILLO, E. M.; BELLINI, G.; CAVAZZINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; PETRINI, R.; MELFI, A. J.; PINESE, J. P. P.; ZANTADESCHI, P.; DE MIN, A. Lower Cretaceous Tholeiitic Dyke Swarms From The Ponta Grossa Arch (Southeast Brazil): Petrology, Sr-Nd Isotopes and Genetic Relationships with the Paraná Flood Volcanics. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 89, n. 19-48, p. 19-48. 1990.

PUTIRKA, K. Clinopyroxene + liquid equilibria to 100 kbar and 2450 K. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, Germany, v. 135, p. 151-163, 1999.

PUTIRKA, K. D. Igneous thermometers and barometers based on plagioclase + liquid equilibria: Tests of some existing models and new calibrations. **American Mineralogist**, USA, v. 90, 336-346, 2005.

PUTIRKA, K.; JOHNSON, M.; KINZLER, R.; LONGHI, J.; WALKER, D. Thermobarometry of mafic igneous rocks based on clinopyroxene-liquid equilibria, 0-30 kb. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, Germany, v. 123, p. 92-108, 1996.

PUTIRKA, K. D.; MIKAELIAN, H.; RYERSON, F.; SHAW, H. New clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with application to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho. **American Mineralogist**, USA, v. 88, 1542-1554, 2003.

QUADROS, L. P. Efeito das intrusões de diabásio em rochas sedimentares do leste e sul da Bacia do Paraná. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p.139-162, 1976.



QUADROS, L. P.; SANTOS, A. S.; MELLO, L. A. M. Efeito das intrusões de diabásio sobre o conteúdo orgânico das rochas sedimentares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: SBG, 1980. p. 410-423.

RAPOSO, M. I. B. Episódios intrusivos no Arco de Ponta Grossa, determinados através de um estudo paleomagnético. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 3-19, 1995.

ROLLINSON, H. **Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation**. 19. Ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1993.

SANTOS, R. V.; DANTAS, E.; ALVARENGA, C. J. S. DE; BERTRAN, F., REIS, W.; GUIMARÃES, E. M.; OLIVEIRA, C. G.; APARECIDO, D.; TOIGO, M. M.; MENDONÇA FILHO, J. G.; REIS, C. W. D.; MEDEIROS, S. R. Geochemical and thermal effects of basic intrusive rocks on sediments from the Irati Formation at northwestern Paraná Basin. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. **Boletim de Resumos Expandidos**. Salvador: SBG, 2003. p. 776-779.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1974. p. 41-65.

SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. **Folha topográfica de Reserva**. Brasil, 1967. 1 mapa: colorido; 73 x 58 cm. Escala: 1:50.000.

SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. **Folha topográfica de Prudentópolis**. Brasil, 1968. 1 mapa: colorido; 73 x 58 cm. Escala: 1:50.000.

SOARES, P.C. Estratigrafia das formações jurássico-cretácicas na Bacia do Paraná – Brasil. In: VOLKHEIMER, W., MUSACCHIO, E.A. **Cuencas sedimentarias del Jurássico y Cretácico de America del Sur**. Comite Sudamericano del Jurássico y Cretácico. Buenos Aires. 1981. p.271-302, 1981.

SOARES, P. C. **Informações sobre sills de diabásio na Bacia do Paraná**. Rio Doce Geol. e Min. S. A., 1985. 20 p. Relatório técnico.

SOARES, P. C.; MANIESI, V.; ANDRADE E SILVA, A. C. G.; NADALIN, R. J.; STEVANATO, R.; FURTADO, L. I.; CARVALHO, S. G.; OLIVEIRA, M. A. F.; SANTOS, J. F. **Projeto Rio Sapucaí**. Curitiba: UFPR- DOCEGEO, 1987. Relatório Técnico.

SOUZA, I. V. A. F.; MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R. Estudo da influência térmica das intrusões ígneas no horizonte potencialmente gerador da Bacia do Paraná (Formação Irati): implicações para a geração de hidrocarbonetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Boletim de Resumos Expandidos**. Belém: SBG, 2003. p. 380-382.

TEIXEIRA, L. R. **O Complexo Caraíba e a Suíte São José do Jacuípe no Cinturão Salvador-Curaçá (Bahia, Brasil): petrologia, geoquímica e potencial metalogenético**. Salvador, 1997. 243f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

THORNTON, C. P.; TUTTLE, O. F. Chemistry of igneous rocks: differentiation index. **American Journal of Science**, USA, v. 258, p. 664-684, 1960.

VASCONCELLOS, E.M.G. **Petrologia e geoquímica de diques e plugs alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos estados do Paraná e São Paulo**. São Paulo, 1995. 202f. Tese (Doutorado em Petrologia e Geoquímica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

VASCONCELLOS, E. M. G.; PETERSOHN, E.; BARBOSA, M. A. D.; VANZELA, G. A.; MANCINI, F.; PINESE, J. P. P.; CÂNDIDO, A. G. Estudo petrográfico e geoquímico de *sills* encaixados nas rochas sedimentares da Formação Irati no Estado do PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Boletim de Resumos Expandidos**. Belém: SBG, 2003. p. 642-644.

VASCONCELLOS, E. M. G.; REIS NETO, J. M.; MESQUITA, M. J. M.; PINESE, J. P. P.; ROSTIROLLA, S. P.; VANZELA, G. A.; BARBOSA, M. A. D.; PETERSOHN, E.; CASTRO, A. B.; SOARES, P. C. **Modelo termal de formação das rochas ígneas da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná) e sua influência nos sistemas petrolíferos Ponta Grossa-Itararé e Irati-Rio Bonito/Pirambóia**. Curitiba: UFPR, 2004. 55p. Relatório técnico.

ZALAN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In: RAJA GABAGLIA, G. P., MILANI, E. J. **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990, p. 135-168.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química termodinâmica e tectônica**. 1. Ed. São Paulo: UNESP, 2003.

WOOD, D. A.; TARNEY J.; VARET, J.; SAUNDERS, A. D. ; BOUGAULT, H.; JORON, J. L.; TREUIL, M.; CANN, J. R. Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg. 49: implications for mantle heterogeneity. **Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 42, p. 77-97, 1979.

WOOD, D. A.; TARNEY J.; VARET, J.; SAUNDERS, A. D. ; BOUGAULT, H.; JORON, J. L.; TREUIL, M.; CANN, J. R. Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg. 49: implications for mantle heterogeneity. **Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 42, p. 77-97, 1979

# apêndice I

PONTO	SILL	COORDENADA LESTE	COORDENADA NORTE	LITOTIPO
E-1	dique	542.267	7.298.783	microgabro
E-2	Reserva	523.248	7.295.696	microgabro
E-3	Reserva	515.189	7.281.428	microgabro
E-4	Telêmaco Borba	539.116	7.312.982	microgabro
E-5	Tomazina	605.117	7.370.644	microgabro
E-6	Salto do Itararé	625.755	7.386.503	basalto
E-7	Joaquim Távora	608.871	7.401.936	basalto
E-8	Santo Antônio	584.880	7.418.550	basalto
E-9	Prudentópolis	504.195	7.233.902	contato sill - sedimento
E-10	Prudentópolis	505.846	7.212.298	microgabro
E-11	Prudentópolis	519.278	7.214.410	contato sill - sedimento
E-12	Irati	532.455	7.192.296	contato sill - sedimento
E-13	Irati	532.547	7.186.314	microgabro
E-14	Irati	536.569	7.176.569	contato sill - sedimento
E-15	Reserva	511.195	7.281.904	contato sill - sedimento
E-16	Reserva	509.385	7.279.613	microgabro
E-17	Reserva	509.828	7.279.708	contato sill - sedimento
E-18	Reserva	512.844	7.287.462	microgabro
E-19	Reserva	511.584	7.286.719	contato sill - sedimento
E-20	Reserva	509.476	7.278.740	contato sill - sedimento
E-21	Reserva	517.080	7.273.494	microgabro
E-22	Reserva	515.902	7.270.391	microgabro
E-23	Prudentópolis	513.565	7.212.145	microgabro
E-24	Prudentópolis	512.840	7.213.013	siltito e folhelho
E-25	Prudentópolis	521.458	7.209.181	contato sill - sedimento
E-26	Irati	531.442	7.200.707	siltito
E-27	Irati	535.465	7.192.969	contato sill - sedimento
E-28	Irati	536.397	7.193.620	microgabro
E-29	Irati	536.828	7.181.116	basalto
E-30	Irati	536.520	7.181.560	siltito
E-31	Rebouças	538.987	7.163.636	folhelho
E-32	Rebouças	539.454	7.162.984	basalto
E-33	Rebouças	535.886	7.165.717	folhelho
E-34	Rebouças	525.723	7.160.528	microgabro
E-35	Ponta Grossa	585.855	7.220.168	contato sill - sedimento
E-36	Ponta Grossa	570.867	7.231.931	contato sill - sedimento

PONTO	SILL	COORDENADA LESTE	COORDENADA NORTE	LITOTIPO
E-37	Ortigueira	525.723	7.160.528	contato sill - sedimento
AR-01	Reserva	511.318	7.279.765	microgabro
AR-02	Reserva	510.869	7.280.480	Siltito
AR-03	Reserva	510.375	7.279.712	Siltito
AR-04	Reserva	509.335	7.279.729	microgabro
AR-05	Reserva	509.180	7.279.213	microgabro
AR-06	Reserva	509.346	7.278.971	contato sill - sedimento
AR-07	Reserva	509.465	7.278.806	contato sill - sedimento
AR-08	Reserva	512.178	7.278.249	microgabro
AR-09	Reserva	511.766	7.282.404	microgabro
AR-10	Reserva	512.064	7.283.180	folhelho
AR-11	Reserva	511.930	7.283.870	folhelho
AR-12	Reserva	511.832	7.284.229	gabro
AR-13	Reserva	510.922	7.285.224	contato sill - sedimento
AR-14	Reserva	510.737	7.285.510	gabro
AR-15	Reserva	511.589	7.287.289	folhelho
AR-16	Reserva	511.504	7.286.927	Contato sill - sedimento
AR-17	Reserva	514.887	7.274.894	microgabro
AR-18	Reserva	513.656	7.275.623	microgabro
AR-19	Reserva	514.887	7.275.572	microgabro
AR-20	Reserva	514.504	7.276.966	microgabro
AR-21	Reserva	514.372	7.278.160	microgabro
AR-22	Reserva	513.388	7.278.382	microgabro
AR-23	Reserva	515.410	7.277.960	microgabro
AR-24	Reserva	516.056	7.278.392	microgabro
AR-25	Reserva	516.809	7.278.633	microgabro
AR-26	Reserva	513.803	7.281.090	microgabro
AR-27	Reserva	513.007	7.280.671	microgabro
AR-28	Reserva	516.604	7.281.471	microgabro
AR-29	Reserva	517.952	7.281.826	Siltito
AR-30	Reserva	517.817	7.281.686	microgabro
AR-31	Reserva	516.122	7.283.672	microgabro
AR-32	Reserva	508.959	7.282.099	microgabro
AR-33	Reserva	515.552	7.285.045	microgabro
AR-34	Reserva	515.663	7.287.614	microgabro
AR-35	Reserva	516.708	7.285.921	microgabro

# **anexo I**

**Composição química e norma CIPW das rochas estudadas  
(Análises realizadas no Laboratório do Instituto de Geociências  
da UNESP)**

SILL		RESERVA							
Amostra	E-3/6	E-15/34	E-15/35	E-15/36	E-16/39	E-18/41	E-19/44	E-19/45	E-19/46
SiO <sub>2</sub>	50,51	58,17	51,08	50,08	51,12	53,34	51,11	51,12	50,70
TiO <sub>2</sub>	2,64	1,77	3,32	3,42	3,20	2,91	3,48	3,25	3,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,25	12,41	13,03	13,56	13,62	13,08	13,09	13,24	13,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,65	14,02	14,89	15,44	15,05	14,19	14,74	15,08	15,43
MnO	0,08	0,15	0,14	0,16	0,14	0,10	0,18	0,13	0,18
MgO	4,52	1,19	4,16	4,33	3,35	3,15	4,23	4,17	4,29
CaO	7,97	5,18	8,13	7,69	8,02	6,96	7,81	7,56	7,14
Na <sub>2</sub> O	3,03	3,36	2,89	2,80	3,05	3,13	3,01	3,10	2,93
K <sub>2</sub> O	1,66	3,09	1,60	1,71	1,67	2,14	1,57	1,56	1,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,69	0,66	0,76	0,82	0,78	1,00	0,77	0,80	0,81
LOI	0,46	0,31	0,90	1,92	1,06	0,99	1,57	1,23	2,19
Total	99,99	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01
Total sem LOI	99,53	99,69	99,10	98,09	98,94	99,02	98,43	98,77	97,82
ID	55,90	69,30	57,40	57,70	59,80	62,70	57,90	58,30	59,20
mg	36,40	14,50	35,60	35,70	30,60	30,60	36,20	35,40	35,60
Cr	30	3	18	22	21	14	26	26	25
Ni	10	1	4	3	1	2	6	2	4
Cu	114	251	101	94	111	49	86	82	86
Zn	97	114	90	85	87	102	77	84	88
Ba	533	951	534	537	550	625	505	540	569
Rb	35	70	26	35	29	45	36	37	26
Sr	393	385	458	447	426	416	368	395	399
Zr	201	380	212	219	202	254	202	209	215
Y	40	66	34	37	36	53	35	40	41
Nb	20	43	13	25	16	27	16	12	27
Quartzo	2,08	12,29	5,06	3,85	4,92	7,56	4,98	4,56	5,96
Plagioclásio	43,85	38,54	42,78	43,64	44,91	42,28	43,54	44,37	45,39
Ortoclásio	9,93	18,44	9,57	10,22	9,99	12,82	9,4	9,34	7,8
Diopsídio	14,71	10,23	14,74	11,28	13,67	10,79	13,56	12,41	8,52
Hiperstênio	18,16	11,44	15,3	17,97	14,11	14,45	15,7	16,78	18,89
Wolastonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivina	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita	5,07	3,4	6,38	6,57	6,15	5,58	6,69	6,25	7,03
Magnetita	4,6	4,12	4,36	4,54	4,42	4,16	4,32	4,42	4,52
Hematita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatita	1,6	1,55	1,78	1,92	1,83	2,34	1,81	1,88	1,9
Zircão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,00	100,01	99,97	99,99	100,00	99,98	100,00	100,01	100,01



<b>SILL</b>	<b>RESERVA</b>				<b>PRUDENTÓPOLIS</b>				
<b>Amostra</b>	<b>E-21/54</b>	<b>E-22/55</b>	<b>E-9/17</b>	<b>E-9/18</b>	<b>E-10/19</b>	<b>E-10/20</b>	<b>E-11/21</b>	<b>E-11/23</b>	<b>E-23/56</b>
SiO <sub>2</sub>	50,04	48,46	51,19	50,72	51,34	51,01	50,53	50,11	54,26
TiO <sub>2</sub>	3,77	4,16	2,32	2,37	2,33	2,26	2,01	1,92	2,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,22	14,44	13,08	13,27	13,02	13,18	13,31	13,72	13,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,20	14,95	15,34	15,55	15,29	15,36	14,09	13,51	13,29
MnO	0,13	0,12	0,17	0,15	0,16	0,17	0,17	0,14	0,11
MgO	3,86	4,15	5,07	5,09	4,92	5,05	6,00	6,56	2,90
CaO	8,15	9,01	9,14	9,04	9,10	9,16	10,46	10,68	6,41
Na <sub>2</sub> O	3,02	3,04	2,39	2,48	2,46	2,43	2,37	2,33	3,23
K <sub>2</sub> O	1,19	1,24	1,01	1,03	1,09	1,10	0,84	0,81	2,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,41	0,43	0,29	0,30	0,28	0,29	0,23	0,22	0,96
LOI	0,36	0,24	1,49	0,26	0,23	0,16	0,89	1,92	0,27
Total	100,01	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	100,01
Total sem LOI	99,65	99,76	98,51	99,75	99,78	99,84	99,12	98,08	99,74
ID	61,70	57,00	54,10	54,00	54,30	54,00	51,40	51,10	64,90
mg	35,00	35,50	39,50	39,40	38,90	39,40	45,80	49,00	30,20
Cr	33	39	79	79	77	78	133	163	22
Ni	21	13	605	124	36	37	57	74	8
Cu	197	205	354	354	344	345	349	368	338
Zn	78	77	82	64	78	73	68	70	102
Ba	395	401	313	391	355	359	307	281	762
Rb	30	21	18	13	21	25	16	21	54
Sr	467	451	210	214	216	243	326	336	659
Zr	162	157	149	147	149	148	116	124	336
Y	27	26	33	39	37	29	22	25	51
Nb	9	3	4	9	16	11	3	1	38
Quartzo	4,01	1,21	5,35	4,23	5,18	4,53	2,66	1,47	7,52
Plagioclásio	50,56	48,37	42,73	43,54	42,58	42,86	43,75	44,83	40,92
Ortoclásio	7,15	7,45	6,03	6,21	6,56	6,62	5,02	4,79	16,43
Diopsídio	11,1	16,55	18,06	17,6	18,53	18,32	22,7	22,35	10,46
Hiperstênio	14,79	13,02	18,19	18,62	17,51	18,14	17,35	18,41	12,82
Wolastonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivina	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita	7,26	8	4,46	4,56	4,48	4,33	3,86	3,68	5,72
Magnetita	4,16	4,39	4,51	4,57	4,49	4,51	4,13	3,96	3,9
Hematita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatita	0,97	1,02	0,67	0,7	0,67	0,67	0,53	0,51	2,25
Zircão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,00	100,01	100,00	100,03	100,00	99,98	100,00	100,00	100,02

<i>SILL</i>	PRUDENTÓPOLIS				IRATI			REBOUÇAS	
<b>Amostra</b>	<b>E-23/57</b>	<b>E-25/64</b>	<b>E-13/27</b>	<b>E-13/30</b>	<b>E-26/66</b>	<b>E-28/70</b>	<b>E-29/72</b>	<b>E-14/32</b>	<b>E-32/76</b>
SiO <sub>2</sub>	52,33	50,72	71,18	51,22	51,46	51,43	51,52	51,91	52,13
TiO <sub>2</sub>	3,99	4,04	0,73	2,37	2,10	3,84	2,58	3,15	3,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,42	13,55	13,21	13,13	13,48	13,56	12,14	15,99	13,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,21	13,01	5,18	15,12	14,19	12,83	16,30	15,26	13,07
MnO	0,09	0,11	0,06	0,09	0,21	0,11	0,31	0,46	0,09
MgO	4,79	5,05	2,26	5,16	5,59	4,84	4,40	3,10	4,25
CaO	7,85	7,93	1,41	9,19	9,44	8,20	8,47	5,05	7,57
Na <sub>2</sub> O	2,82	3,08	2,34	2,41	2,37	2,77	2,64	3,13	2,79
K <sub>2</sub> O	1,94	1,99	3,47	1,02	0,91	1,88	1,28	1,51	1,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,56	0,52	0,16	0,29	0,26	0,55	0,36	0,45	0,57
LOI	0,99	0,24	1,75	0,21	0,24	0,74	0,89	5,03	0,77
Total	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99
Total sem LOI	99,02	99,76	98,24	99,80	99,76	99,26	99,11	94,97	99,23
ID	60,50	57,90	82,70	54,30	54,50	59,00	53,50	66,10	61,70
<i>mg</i>	43,70	43,50	46,40	40,30	43,90	42,80	34,90	28,60	39,20
Cr	66	70	36	167	132	74	64	79	69
Ni	87	54	18	75	53	56	38	36	65
Cu	295	252	119	355	363	298	399	510	290
Zn	81	66	53	69	68	62	71	89	76
Ba	816	632	428	282	337	581	424	316	652
Rb	44	45	175	29	16	34	30	35	31
Sr	676	733	137	211	221	673	310	383	648
Zr	254	233	152	151	128	241	153	196	248
Y	35	27	33	36	30	34	33	40	37
Nb	30	21	5	9	7	23	4	14	25
Quartzo	6,35	2,25	36,23	5,29	5,05	4,86	5,48	7,8	6,8
Plagioclásio	42,53	43,74	25,88	42,87	44	42,89	40,37	49,28	43,57
Ortoclásio	11,58	11,94	20,62	6,09	5,44	11,23	7,68	8,98	11,29
Diopsídio	14,08	15,45	0	18,13	18,1	15,01	18,84	0	11,94
Hiperstênio	12,92	13,84	10,57	17,91	18,63	13,62	17,05	21,27	13,85
Wolastonita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivina	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita	7,67	7,75	1,39	4,56	4,03	7,37	4,96	6,04	7,39
Magnetita	3,58	3,81	1,51	4,44	4,16	3,76	4,78	4,48	3,83
Hematita	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatita	1,3	1,2	0,37	0,7	0,6	1,27	0,83	1,04	1,32
Zircão	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,01	99,98	100,00	99,99	100,01	100,01	99,99	99,99	99,99

<i>SILL</i>	REBOUÇAS				PONTA GROSSA			
<b>Amostra</b>	<b>E-34/80</b>	<b>E-34/81</b>	<b>E-34/82</b>	<b>E-35/87</b>	<b>E-35/89</b>	<b>E-36/91</b>	<b>E-36/92</b>	<b>E-36/93</b>
SiO <sub>2</sub>	51,28	51,08	51,89	51,23	51,16	50,85	51,13	51,48
TiO <sub>2</sub>	1,32	1,45	0,97	2,35	1,97	2,07	2,19	2,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,53	13,62	13,86	13,19	12,71	14,00	13,26	13,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,27	14,03	11,67	15,34	14,65	14,81	15,12	15,18
MnO	0,19	0,15	0,17	0,14	0,18	0,15	0,18	0,19
MgO	6,12	6,31	7,03	5,09	6,18	4,86	5,23	4,96
CaO	10,35	10,37	11,83	9,10	9,85	9,58	9,18	8,96
Na <sub>2</sub> O	2,21	2,27	2,05	2,45	2,26	2,54	2,44	2,47
K <sub>2</sub> O	0,57	0,55	0,42	0,82	0,81	0,88	1,00	1,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,17	0,12	0,29	0,24	0,26	0,27	0,30
LOI	0,74	0,51	0,53	0,47	0,51	1,78	0,49	0,35
Total	100,01	100,01	100,00	100,00	100,01	100,01	100,01	100,00
Total sem LOI	99,27	99,50	99,47	99,54	99,51	98,23	99,52	99,65
ID	52,10	52,00	51,60	54,40	51,00	55,50	54,10	54,70
<i>mg</i>	45,90	47,10	54,40	39,70	45,50	39,40	40,60	39,30
Cr	105	111	220	160	300	172	220	170
Ni	49	58	68	39	56	44	49	34
Cu	250	231	228	390	335	338	369	326
Zn	77	62	48	82	74	73	67	73
Ba	224	209	166	326	299	307	303	361
Rb	16	12	9	21	23	16	27	20
Sr	182	196	174	215	215	246	226	207
Zr	78	95	72	156	137	148	141	146
Y	20	24	15	36	35	31	27	41
Nb	1	5	8	16	8	4	1	7
Quartzo	4,18	3,6	3,91	5,67	4,35	4,03	4,62	5,55
Plagioclásio	44,5	45,06	45,13	43,83	41,77	46,25	43,42	42,84
Ortoclásio	3,43	3,31	2,54	4,9	4,85	5,26	6,03	6,32
Diopsídio	20,88	20,89	25,22	17,34	21	18,23	18,04	17,74
Hiperstênio	19,92	19,84	17,65	18,54	19,4	17,32	18,59	17,86
Wolastonita	0	0	0	0	0	0	0	0
Olivina	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilmenita	2,54	2,79	1,84	4,5	3,78	3,97	4,22	4,54
Magnetita	4,19	4,12	3,42	4,51	4,29	4,35	4,44	4,45
Hematita	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatita	0,37	0,39	0,28	0,7	0,56	0,6	0,65	0,7
Zircão	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100,01	100,00	99,99	99,99	100,00	100,01	100,01	100,00

# **anexo II**

**Elementos terras raras das rochas analisadas**

<b>SILL</b>	<b>RESERVA</b>		<b>PRUDENTÓPOLIS</b>		<b>IRATI</b>	<b>REBOUÇAS</b>		<b>PONTA GROSSA</b>	
<b>Amostra</b>	<b>E-15/34</b>	<b>E-22/55</b>	<b>E-11/23</b>	<b>E-23/56</b>	<b>E-26/66</b>	<b>E-14/32</b>	<b>E-34/80</b>	<b>E-35/87</b>	<b>E-36/92</b>
<b>Lu</b>	0,23	0,14	0,10	0,13	0,13	0,25	0,11	0,13	0,14
<b>Y</b>	27,9	15,08	11,80	21,50	13,70	23,50	11,50	14,70	14,60
<b>Dy</b>	8,55	4,31	3,45	7,05	3,68	6,06	3,31	4,26	4,23
<b>Er</b>	3,02	1,67	1,33	2,19	1,46	2,56	1,33	1,65	1,60
<b>Yb</b>	1,72	1,01	0,71	1,04	0,90	1,71	0,77	0,94	0,99
<b>Gd</b>	12,9	5,90	4,26	13,20	5,20	7,05	3,71	5,81	5,47
<b>La</b>	60,20	22,60	16,40	57,20	18,20	27,80	10,90	20,20	18,20
<b>Eu</b>	3,56	1,97	1,40	3,68	1,53	2,08	1,15	1,68	1,59
<b>Nd</b>	68,1	28,60	18,40	67,40	20,70	33,00	12,70	23,90	21,00
<b>Ce</b>	136	54,90	37,4	129	41,10	59,90	22,80	44,50	40,50
<b>Sm</b>	14,1	6,41	4,47	14,40	4,81	7,01	2,97	5,85	5,15

# **anexo III**

**Composição química e norma CIPW das rochas investigadas  
(Análises realizadas no Laboratório de Minerais e Rochas da  
UFPR)**

SILL		RESERVA											
Amostra	AR-01/01	AR-09/17	AR-12/19	AR-17/40	AR-18/41	AR-19/43	AR-19/44	AR-20/45	AR-20/46	AR-21/47	AR-22/48	AR-23/50	
SiO <sub>2</sub>	52,10	49,65	51,74	50,16	54,64	50,58	48,85	51,02	50,63	50,59	51,41	50,22	
TiO <sub>2</sub>	3,69	4,58	2,84	4,01	2,62	3,83	5,09	3,88	4,05	3,94	3,65	3,87	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,47	12,43	14,06	12,82	11,96	13,02	12,18	12,49	12,39	12,22	12,26	12,93	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,69	15,73	15,47	16,08	15,50	15,78	16,73	15,41	15,38	15,43	15,56	16,06	
MnO	0,19	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	
MgO	3,92	3,90	3,44	3,71	2,29	3,78	4,40	4,27	4,34	4,43	4,14	3,79	
CaO	7,73	8,15	8,88	8,18	6,20	8,37	8,84	7,82	7,96	8,00	7,78	8,19	
Na <sub>2</sub> O	2,73	2,69	2,65	2,75	2,95	2,79	2,57	3,13	3,06	2,70	2,78	2,77	
K <sub>2</sub> O	1,59	1,34	1,12	1,46	2,33	1,47	1,24	1,51	1,45	1,48	1,62	1,48	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,70	0,59	0,32	0,51	0,88	0,51	0,51	0,62	0,60	0,61	0,66	0,51	
LOI	1,05	1,35	0,27	0,71	1,30	0,50	0,05	0,42	0,76	0,78	0,78	0,45	
Total	100,87	100,63	100,99	100,59	100,90	100,84	100,67	100,78	100,83	100,40	100,85	100,47	
Total sem LOI	99,82	99,28	100,72	99,88	99,59	100,34	100,61	100,36	100,07	99,62	100,07	100,01	
ID	58,55	55,96	59,17	56,44	62,95	56,69	52,28	55,89	55,41	55,28	56,3	56,4	
mg	34,56	32,95	30,60	31,36	22,65	32,20	34,25	35,45	35,86	36,24	34,53	31,87	
Quartzo	8,30	6,42	6,7	5,51	10,84	5,25	4,81	4,46	4,53	6,08	6,43	5,06	
Plagioclásio	40,74	41,44	45,79	42,18	38,1	42,69	40,08	42,45	42,19	40,34	40,18	42,48	
Ortoclásio	9,51	8,1	6,68	8,75	14,01	8,75	7,39	8,98	8,69	8,86	9,69	8,86	
Diopsídio	14,10	15,87	15,91	16,04	10,85	16,5	18,77	16,04	16,57	15,85	15,2	15,94	
Hiperstênio	14,27	13,25	14,26	13,85	14,51	13,68	13,14	14,67	14,33	15,25	15,36	14,31	
Wolastonita	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Olivina	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ilmenita	7,10	8,87	5,41	7,73	5,05	7,35	9,74	7,43	7,79	7,62	7,01	7,44	
Magnetita	4,32	4,65	4,51	4,73	4,57	4,63	4,89	4,51	4,51	4,55	4,57	4,71	
Hematita	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Apatita	1,65	1,39	0,74	1,2	2,06	1,18	1,18	1,46	1,41	1,44	1,55	1,2	
Zircão	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	99,99	99,99	100	99,99	99,99	100,03	100	100	100,02	99,99	99,99	100	

SILL		RESERVA												
Amostra		AR-24/51	AR-25/52	AR-26/53	AR-27/54	AR-28/56	AR-30/59	AR-30/60	AR-31/61	AR-32/62	AR-33/63	AR-34/64	AR-35/65	
SiO <sub>2</sub>		50,92	49,64	50,73	51,67	54,76	49,27	49,88	51,64	52,30	51,93	51,29	49,72	
TiO <sub>2</sub>		3,68	4,63	3,31	3,77	2,38	4,14	3,03	3,65	3,41	3,54	3,59	4,36	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		12,87	11,93	14,31	12,37	12,03	13,51	11,85	12,41	11,37	12,86	12,43	12,76	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		15,79	17,30	14,80	15,19	15,05	15,74	15,99	14,56	17,93	15,27	15,63	16,29	
MnO		0,20	0,21	0,18	0,20	0,22	0,19	0,21	0,22	0,22	0,22	0,19	0,20	
MgO		3,78	4,07	3,30	3,85	2,93	4,02	6,46	3,98	2,85	3,69	4,08	4,13	
CaO		8,15	8,14	7,97	7,71	6,66	8,87	8,87	7,75	6,73	7,68	7,50	8,70	
Na <sub>2</sub> O		2,76	2,64	3,08	2,73	2,77	2,82	2,42	2,68	2,70	2,89	3,06	2,64	
K <sub>2</sub> O		1,53	1,42	1,40	1,62	2,20	1,25	1,20	1,59	2,12	1,65	1,72	1,33	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,52	0,46	0,69	0,69	0,89	0,42	0,41	0,69	0,70	0,64	0,66	0,45	
LOI		0,54	0,30	1,08	1,08	0,92	0,30	0,18	1,13	0,56	0,43	0,74	0,27	
Total		100,75	100,74	100,86	100,89	100,81	100,51	100,51	100,29	100,87	100,81	100,89	100,86	
Total sem LOI		100,20	100,44	99,78	99,80	99,89	100,21	100,33	99,16	100,31	100,37	100,15	100,59	
ID		56,95	53,05	61,26	57,82	61,8	55,75	48,43	58,26	56,88	58,65	56,55	54,47	
mg		32,17	31,80	30,65	33,46	27,84	33,59	44,45	35,13	23,93	32,36	34,11	33,44	
Quartzo		5,78	5,36	5,05	7,73	10,78	3,45	2,5	8,08	8,33	6,79	4,83	4,88	
Plagioclásio		42,01	39,24	47,82	40,4	37,84	44,85	38,78	40,61	35,9	42,05	41,44	41,67	
Ortoclásio		9,16	8,45	8,39	9,69	13,18	7,45	7,15	9,57	12,65	9,81	10,28	7,92	
Diopsídio		15,89	17,62	11,81	14,37	11,45	17,45	19,46	14,26	13,88	14,02	14,95	17,76	
Hiperstênio		14,26	14,32	14,58	14,45	15,67	13,27	20,66	14,46	15,8	14,59	15,48	13,62	
Wolastonita		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Olivina		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ilmenita		7,07	8,87	6,38	7,26	4,58	7,94	5,81	7,07	6,55	6,78	6,89	8,34	
Magnetita		4,63	5,06	4,35	4,47	4,42	4,61	4,68	4,31	5,26	4,47	4,58	4,76	
Hematita		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Apatita		1,23	1,07	1,62	1,62	2,09	0,97	0,95	1,62	1,65	1,51	1,55	1,04	
Zircão		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total		100,03	99,99	100	99,99	100,01	99,99	99,99	99,98	100,02	100,02	100	99,99	



SILL	RESERVA									
	Amostra	AR-35/66	AR-35/67	AR-35/68	AR-35/69	AR-35/70	AR-35/71			
SiO <sub>2</sub>		49,40	49,79	49,72	49,49	49,70	50,64			
TiO <sub>2</sub>		4,04	2,96	2,80	2,71	3,18	3,41			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		14,59	13,40	11,16	10,88	11,81	12,60			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		14,31	14,90	16,29	16,47	16,07	15,78			
MnO		0,17	0,20	0,22	0,22	0,22	0,21			
MgO		3,93	5,38	7,55	8,08	6,06	4,86			
CaO		9,18	9,81	9,21	9,26	8,82	8,56			
Na <sub>2</sub> O		2,95	2,59	2,27	2,21	2,38	2,65			
K <sub>2</sub> O		1,16	0,99	1,06	1,04	1,24	1,37			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,35	0,35	0,37	0,36	0,43	0,49			
LOI		0,23	0,20	0,28	0,15	0,28	0,25			
Total		100,31	100,57	100,93	100,87	100,20	100,81			
Total sem LOI		100,07	100,37	100,65	100,71	99,91	100,56			
ID		58,54	52,57	44,39	42,58	49,16	53,69			
mg		35,23	41,70	47,87	49,29	42,74	37,87			
Quartzo		3	2,38	1,53	0,77	3,17	4,37			
Plagioclásio		48,63	44,28	36,54	35,6	38,54	41,16			
Ortoclásio		6,91	5,91	6,32	6,21	7,45	8,16			
Diopsídio		16,85	20,3	21,6	22,18	19,24	17,42			
Hiperstênio		11,84	16,28	23,03	24,44	19,73	16,64			
Wolastonita		0	0	0	0	0	0			
Olivina		0	0	0	0	0	0			
Ilmenita		7,75	5,66	5,36	5,18	6,12	6,51			
Magnetita		4,19	4,35	4,76	4,8	4,73	4,61			
Hematita		0	0	0	0	0	0			
Apatita		0,81	0,81	0,86	0,83	1,02	1,14			
Zircão		0	0	0	0	0	0			
Total		99,98	99,97	100	100,01	100	100,01			

# **anexo IV**

**Composição química e fórmula estrutural de feldspatos das  
rochas estudadas**

SILL		RESERVA															
Amostra	15/34e	15/34e	15/34h	15/34h	15/34h	15/35f	15/35b	15/35b	15/35b	15/35a	15/35a	15/35a	15/36f	15/36e	15/36e	15/36e	16/39d
Tamanho	microfen	microfen	microfen	microfen	microfen	matriz	fenô	fenô	fenô	microfen	microfen	microfen	fenô	fenô	fenô	fenô	microfen
Zona	núcleo	borda	borda	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	borda	borda
Óxidos (% em peso)																	
SiO <sub>2</sub>	56,97	58,70	59,12	58,08	54,84	55,27	58,04	56,04	54,31	56,46	55,43	55,84	57,29				
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,02	0,06	0,09	0,10	0,07	0,09	0,14	0,09	0,10	0,12	0,13	0,07				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,88	24,90	25,00	25,50	27,52	27,45	26,00	27,10	28,10	26,69	26,96	26,48	26,44				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,52	0,50	0,47	0,90	0,80	0,63	0,87	0,91	0,86	0,76	0,85	0,57				
MnO	0	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01				
MgO	0,03	0,02	0,01	0,03	0,13	0,11	0,07	0,10	0,13	0,10	0,10	0,11	0,05				
CaO	8,65	7,34	7,27	7,95	10,88	10,46	8,66	10,22	11,29	9,48	10,12	9,73	8,86				
Na <sub>2</sub> O	6,32	6,99	6,86	6,60	5,14	5,36	6,47	5,63	4,95	6,06	5,59	5,80	6,22				
K <sub>2</sub> O	0,62	0,72	0,74	0,69	0,34	0,27	0,44	0,41	0,29	0,36	0,47	0,49	0,48				
Total	99,13	99,22	99,57	99,42	99,84	99,79	100,40	100,50	100,08	100,10	99,58	99,43	100,00				
Si	10,3400	10,6010	10626	10,4820	9,9390	10,0020	10,3850	10,0740	9,8320	10,1710	10,0610	10,1430	10,2990				
Al	5,5310	5,2960	5,2920	5,4190	5,8750	5,8500	5,4790	5,7370	5,9920	5,6610	5,7620	5,6640	5,5980				
Fe3	0,0780	0,0700	0,0680	0,0630	0,1220	0,1090	0,0850	0,1170	0,1240	0,1160	0,1040	0,1160	0,0770				
Ti	0,0120	0,0030	0,0090	0,0120	0,0140	0,0100	0,0130	0,0190	0,0120	0,0140	0,0160	0,0170	0,0100				
Fe2	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000				
Mn	0	0,0020	0	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030	0,0000	0,0040	0,0000	0,0010				
Mg	0,0080	0,0050	0,0030	0,0080	0,0340	0,0300	0,0200	0,0270	0,0340	0,0270	0,0280	0,0310	0,0130				
Ba	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000				
Ca	1,6820	1,4210	1,4000	1,5370	2,1130	2,0270	1,6590	1,9680	2,1890	1,8300	1,9680	1,8930	1,7070				
Na	2,2250	2,4490	2,3900	2,3080	1,8050	1,8800	2,2450	1,9630	1,7370	2,1170	1,9670	2,0420	2,1670				
K	0,1430	0,1650	0,1700	0,1600	0,0780	0,0630	0,1000	0,0940	0,0670	0,0820	0,1100	0,1130	0,1110				
Cátions	20,0190	20,0120	19,9580	19,9920	19,9800	19,9710	19,9860	19,9990	19,9900	20,0180	20,0200	20,0190	19,9830				
X	15,9610	15,9700	15,9950	15,9760	15,9500	15,9710	15,9620	15,9470	15,9600	15,9620	15,9430	15,9400	15,9840				
Z	4,0580	4,0420	3,9630	4,0160	4,0300	4,0000	4,0240	4,0520	4,0300	4,0560	4,0770	4,0790	3,9990				
Ab	54,9000	60,7000	60,4000	57,6000	45,2000	47,4000	56,1000	48,8000	43,5000	52,5000	48,6000	50,4000	54,4000				
An	41,5000	35,2000	35,4000	38,4000	52,9000	51,1000	41,4000	48,9000	54,8000	45,4000	48,7000	46,8000	42,8000				
Or	3,5000	4,1000	4,3000	4,0000	2,0000	1,6000	2,5000	2,3000	1,7000	2,0000	2,7000	2,8000	2,8000				

SILL	RESERVA														PRUDENTOPOLIS			
	Amostra	16/39d	16/39e	16/39e	16/39f	19/44f	19/44c	19/44c	19/44c	19/44c	19/45f	19/45c	19/46f	19/46c	23/56d	23/56d	23/56d	23/56d
Tamanho	microfen		feno	borda	matriz	núcleo	matriz	núcleo	microfen	borda	microfen	núcleo	matriz	núcleo	microfen	núcleo	microfen	borda
Zona	núcleo	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda
Óxidos (% em peso)																		
SiO <sub>2</sub>	54,40	56,25	59,63	56,87	57,57	56,45	55,92	54,57	61,40	53,91	54,60	54,31	57,77	54,31	57,77	54,31	57,77	54,31
TiO <sub>2</sub>	0,09	0,04	0	0,06	0,11	0,10	0,13	0,17	0,08	0,17	0,14	0,17	0,05	0,17	0,05	0,17	0,05	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,48	27,43	25,04	26,91	25,78	26,74	26,54	26,91	23,30	26,74	26,81	27,59	25,75	26,81	27,59	26,81	25,75	25,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	0,66	0,39	0,55	0,69	0,82	0,94	0,72	0,54	2,75	0,97	0,85	0,57	0,97	0,85	0,97	0,57	0,57
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0
MgO	0,05	0,05	0,01	0,03	0,07	0,10	0,15	0,09	0,04	0,34	0,12	0,08	0,03	0,12	0,08	0,12	0,03	0,03
CaO	10,45	9,91	7,38	9,37	8,73	9,95	10,01	10,56	5,52	10,11	10,67	11,17	8,39	10,67	11,17	10,67	8,39	8,39
Na <sub>2</sub> O	5,45	5,70	7,11	5,96	6,38	5,70	5,64	5,41	8,13	5,04	5,26	4,86	6,45	5,04	4,86	5,26	6,45	6,45
K <sub>2</sub> O	0,36	0,40	0,72	0,45	0,53	0,50	0,48	0,38	0,83	0,38	0,41	0,46	0,59	0,38	0,41	0,41	0,46	0,59
Total	99,01	100,44	100,30	100,19	99,87	100,38	99,83	98,85	99,83	99,46	98,96	99,48	99,59	99,46	99,48	98,96	99,48	99,59
Si	9,9400	10,0960	10,6440	10,2140	10,3690	10,1520	10,1240	9,9920	10,9700	9,8600	9,9920	9,8920	10,4190	9,8600	9,8920	9,9920	10,4190	10,4190
Al	5,9120	5,7980	5,2630	5,6910	5,4690	5,6640	5,6580	5,8020	4,9020	5,7600	5,7770	5,9170	5,4680	5,7600	5,7770	5,7770	5,4680	5,4680
Fe3	0,0990	0,0890	0,0530	0,0740	0,0930	0,1110	0,1280	0,1000	0,0720	0,3780	0,1330	0,1160	0,0780	0,3780	0,1330	0,1330	0,0780	0,0780
Ti	0,0130	0,0060	0,0000	0,0090	0,0150	0,0140	0,0170	0,0230	0,0110	0,0240	0,0190	0,0230	0,0060	0,0240	0,0190	0,0190	0,0060	0,0060
Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mn	0,0000	0,0000	0,0020	0,0000	0,0020	0,0010	0,0030	0,0070	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0010	0,0000	0,0000
Mg	0,0140	0,0130	0,0040	0,0070	0,0200	0,0280	0,0400	0,0260	0,0090	0,0930	0,0310	0,0200	0,0080	0,0930	0,0310	0,0310	0,0200	0,0080
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ca	2,0460	1,9050	1,4110	1,8020	1,6850	1,9180	1,9420	2,0710	1,0570	1,9810	2,0910	2,1800	1,6210	1,9810	2,0910	2,0910	2,1800	1,6210
Na	1,9300	1,9820	2,4610	2,0750	2,2280	1,9870	1,9780	1,9220	2,8170	1,7870	1,8670	1,7150	2,2540	1,7870	1,7150	1,8670	2,2540	2,2540
K	0,0830	0,0920	0,1630	0,1020	0,1210	0,1150	0,1120	0,0880	0,1900	0,0890	0,0950	0,1080	0,1360	0,0890	0,0950	0,0950	0,1080	0,1360
Cátions	20,0370	19,9810	20,0010	19,9740	20,0020	19,9900	20,0020	20,0310	20,0280	19,9740	20,0060	19,9710	19,9900	19,9740	20,0060	19,9710	19,9900	19,9900
X	15,9640	15,9890	15,9600	15,9880	15,9460	15,9410	15,9270	15,9170	15,9550	16,0220	15,9210	15,9480	15,9710	16,0220	15,9210	15,9480	15,9710	15,9710
Z	4,0730	3,9920	4,0410	3,9860	4,0560	4,0490	4,0750	4,1140	4,0730	3,9520	4,0850	4,0230	4,0190	3,9520	4,0850	4,0230	4,0190	4,0190
Ab	47,5000	49,8000	61,0000	52,1000	55,2000	49,4000	49,1000	47,1000	69,3000	46,3000	46,1000	42,8000	56,2000	46,3000	46,1000	42,8000	56,2000	56,2000
An	50,4000	47,9000	35,0000	45,3000	41,8000	47,7000	48,2000	50,7000	26,0000	51,4000	51,6000	54,5000	40,4000	51,4000	51,6000	54,5000	40,4000	40,4000
Or	2,0000	2,3000	4,0000	2,6000	3,0000	2,9000	2,8000	2,2000	4,7000	2,3000	2,3000	2,7000	3,4000	2,3000	2,3000	2,3000	2,7000	3,4000

SILL		PRUDENTOPOLIS												REBOUÇAS			
Amostra	23/56e	23/56e	23/56e	23/56e	23/57a	23/57a	23/57a	23/57b	23/57c	25/64f	25/64b	25/64c	25/64c	25/64c	14/32b	14/32a	
Tamanho	feno	borda	cen/bor	feno	núcleo	feno	borda	núcleo	microfen	núcleo	matriz	núcleo	microfen	núcleo	matriz	feno	
Zona	borda															núcleo	
Óxidos (% em peso)																	
SiO <sub>2</sub>	57,41	54,85		54,59	52,02	53,29	54,04	53,44	57,15	52,51	54,37	56,22	53,77	53,55			
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,11		0,12	0,13	0,18	0,16	0,10	0,07	0,16	0,19	0,12	0,15	0,07			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,86	27,61		27,84	29,02	27,93	27,95	28,47	26,80	28,84	29,00	27,05	28,04	28,59			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,56	0,72		0,54	0,70	0,76	0,65	0,61	0,86	0,74	0,85	0,84	0,92	0,95			
MnO	0,01	0		0	0,00	0,00	0,03	0,01	0	0,01	0,03	0	0,01	0			
MgO	0,03	0,08		0,06	0,12	0,10	0,05	0,03	0,09	0,17	0,13	0,11	0,14	0,14			
CaO	8,71	10,89		10,91	12,47	11,50	11,04	11,51	9,72	12,42	10,79	9,98	11,76	11,71			
Na <sub>2</sub> O	6,29	5,06		5,12	4,07	4,81	5,10	4,76	5,60	4,22	4,91	5,40	4,75	4,63			
K <sub>2</sub> O	0,63	0,53		0,51	0,38	0,42	0,30	0,30	0,66	0,36	0,50	0,61	0,33	0,31			
Total	99,59	99,85		99,69	98,91	98,99	99,31	99,23	100,94	99,44	100,77	100,33	99,87	99,95			
Si	10,3680	9,9430		9,9110	9,5630	9,7730	9,8510	9,7580	10,2080	9,6030	9,7680	10,1140	9,7750	9,7210			
Al	5,4990	5,8950		5,9520	6,2820	6,0330	5,9990	6,1230	5,6360	6,2110	6,1350	5,7320	6,0030	6,1130			
Fe3	0,0760	0,0980		0,0730	0,0960	0,1040	0,0890	0,0830	0,1150	0,1010	0,1150	0,1130	0,1250	0,1300			
Ti	0,0110	0,0150		0,0160	0,0180	0,0250	0,0220	0,0130	0,0100	0,0220	0,0250	0,0160	0,0210	0,0090			
Fe2	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000			
Mn	0,0010	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,0010	0,0000	0,0020	0,0040	0,0000	0,0010	0,0000			
Mg	0,0090	0,0210		0,0170	0,0340	0,0270	0,0140	0,0080	0,0240	0,0460	0,0360	0,0300	0,0380	0,0380			
Ba	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000			
Ca	1,6860	2,1150		2,1230	2,4560	2,2600	2,1560	2,2520	1,8590	2,4330	2,0760	1,9240	2,2910	2,2780			
Na	2,2010	1,7770		1,8030	1,4520	1,7110	1,8030	1,6850	1,9380	1,4960	1,7110	1,8820	1,6740	1,6300			
K	0,1460	0,1220		0,1180	0,0890	0,0970	0,0690	0,0700	0,1500	0,0840	0,1140	0,1400	0,0770	0,0720			
Cátions	19,9970	19,9860		20,0130	19,9000	20,0300	20,0080	19,9930	19,9400	19,9980	19,9840	19,9510	20,0050	19,9910			
X	15,9540	15,9510		15,9520	15,9590	15,9350	15,9610	15,9770	15,9690	15,9370	16,0430	15,9750	15,9240	15,9730			
Z	4,0430	4,0350		4,0610	4,0310	4,0950	4,0470	4,0160	3,9710	4,0610	3,9410	3,9760	4,0810	4,0180			
Ab	54,6000	44,3000		44,6000	36,3000	42,1000	44,8000	42,1000	49,1000	37,3000	43,9000	47,7000	41,4000	41,0000			
An	41,8000	52,7000		52,5000	61,4000	55,6000	53,5000	56,2000	47,1000	60,6000	53,2000	48,8000	56,7000	57,2000			
Or	3,6000	3,0000		2,9000	2,2000	2,4000	1,7000	1,7000	3,8000	2,1000	2,9000	3,5000	1,9000	1,8000			

REBOUÇAS																
SILL	Amostra	14/32a	32/76a	32/76b	32/76b	32/76a	32/76a	32/76b	32/76b	32/76a	32/76a	32/76b	32/76b	32/76a	32/76a	32/76b
Tamanho	zona	feno	borda	núcleo	microfen	núcleo	feno	borda	feno	núcleo	microfen	borda	núcleo	microfen	borda	feno
Óxidos (% em peso)																
	SiO <sub>2</sub>	53,96	54,69	55,57	54,52	57,34	54,53	52,32	51,97	55,75	55,80	52,40	52,59	52,40	52,59	49,50
	TiO <sub>2</sub>	0,03	0,14	0,07	0,08	0,11	0,09	0,07	0,04	0,08	0,08	0,04	0,07	0,04	0,07	0,03
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,34	27,33	27,59	28,00	25,81	27,66	28,89	29,02	27,44	27,44	29,52	28,77	29,52	28,77	31,40
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05	1,50	0,71	0,70	0,64	0,79	1,28	1,00	0,89	0,92	0,95	1,02	0,95	1,02	0,97
	MnO	0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
	MgO	0,18	0,32	0,08	0,12	0,05	0,13	0,08	0,16	0,11	0,07	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13
	CaO	11,34	10,48	10,32	11,18	8,57	10,63	12,42	12,82	10,75	10,45	13,17	12,64	13,17	12,64	15,20
	Na <sub>2</sub> O	4,89	4,99	5,18	4,84	6,20	5,02	4,30	3,98	5,36	5,43	3,88	4,13	3,88	4,13	2,77
	K <sub>2</sub> O	0,36	0,49	0,53	0,48	0,72	0,57	0,20	0,16	0,26	0,26	0,14	0,18	0,14	0,18	0,09
	Total	99,15	99,93	100,07	99,92	99,43	99,42	99,58	99,16	100,64	100,47	100,23	99,53	100,23	99,53	100,11
	Si	9,8740	9,9180	10,0250	9,8770	10,3700	9,9240	9,5670	9,5370	10,0120	10,0300	9,5130	9,6080	9,5130	9,6080	9,0570
	Al	5,8900	5,8360	5,8620	5,9750	5,4970	5,9290	6,2210	6,2700	5,8030	5,8090	6,3110	6,1900	6,3110	6,1900	6,7660
	Fe3	0,1450	0,2040	0,0960	0,0960	0,0870	0,1080	0,1760	0,1380	0,1210	0,1240	0,1290	0,1410	0,1290	0,1410	0,1340
	Ti	0,0050	0,0190	0,0100	0,0110	0,0160	0,0130	0,0100	0,0060	0,0100	0,0110	0,0050	0,0090	0,0050	0,0090	0,0040
	Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mn	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0040
	Mg	0,0480	0,0860	0,0220	0,0320	0,0130	0,0340	0,0220	0,0450	0,0280	0,0200	0,0330	0,0310	0,0330	0,0310	0,0350
	Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ca	2,2240	2,0360	1,9940	2,1700	1,6610	2,0720	2,4330	2,5210	2,0690	2,0120	2,5610	2,4750	2,5610	2,4750	2,9790
	Na	1,7350	1,7540	1,8130	1,7010	2,1730	1,7720	1,5230	1,4160	1,8680	1,8930	1,3650	1,4630	1,3650	1,4630	0,9820
	K	0,0840	0,1130	0,1230	0,1100	0,1670	0,1320	0,0470	0,0380	0,0600	0,0590	0,0310	0,0420	0,0310	0,0420	0,0200
	Cátions	20,0050	19,9680	19,9460	19,9720	19,9840	19,9860	20,0000	19,9710	19,9710	19,9610	19,9510	19,9620	19,9510	19,9620	19,9810
	X	15,9140	15,9770	15,9930	15,9590	15,9700	15,9740	15,9740	15,9510	15,9460	15,9740	15,9580	15,9480	15,9580	15,9480	15,9610
	Z	4,0910	3,9910	3,9530	4,0130	4,0140	4,0120	4,0260	4,0200	4,0250	3,9870	3,9930	4,0140	3,9930	4,0140	4,0200
	Ab	42,9000	44,9000	46,1000	42,7000	54,3000	44,6000	38,0000	35,6000	46,7000	47,8000	34,5000	36,8000	34,5000	36,8000	24,7000
	An	55,0000	52,2000	50,7000	54,5000	41,5000	52,1000	60,8000	63,4000	51,8000	50,8000	64,7000	62,2000	64,7000	62,2000	74,8000
	Or	2,1000	2,9000	3,1000	2,8000	4,2000	3,3000	1,2000	1,0000	1,5000	1,5000	0,8000	1,1000	0,8000	1,1000	0,5000

SILL	REBOUÇAS										IRATI							PG			
	Amostra	34/82a	34/82e	34/82d	34/82d	34/82d	34/82d	13/28f	13/28f	13/28f	13/28d	13/28d	13/28d	13/28g	13/30b	13/30a	13/30a	13/30a	36/93d		
Tamanho	34/82a	34/82a	34/82e	34/82d	34/82d	34/82d	34/82d	34/82d	34/82d	34/82d	13/28f	13/28f	13/28f	13/28d	13/28d	13/28d	13/28g	13/30b	13/30a	13/30a	36/93d
Zona	fenô	fenô	matriz	microfen	microfen	microfen	microfen	microfen	microfen	microfen	borda	borda	borda	borda	borda	borda	núcleo	núcleo	fenô	fenô	microfen
	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	borda	borda	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	fenô	borda	borda
Óxidos (% em peso)	SiO <sub>2</sub>	50,29	51,40	52,16	49,27	53,93	54,63	54,07	56,17	59,19	54,27	52,79	52,79	52,79	56,32	53,89					
	TiO <sub>2</sub>	0,04	0,04	0,07	0	0,09	0,06	0,08	0,03	0,08	0,12	0,05	0,05	0,05	0,12	0,10					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,35	29,88	29,80	31,62	28,01	27,86	28,09	26,88	24,85	28,15	28,77	28,77	28,77	27,27	28,46					
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	0,96	0,95	0,96	0,84	0,87	0,94	0,64	0,53	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82					
	MnO	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0	0	0	0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01					
	MgO	0,16	0,11	0,13	0,09	0,13	0,08	0,12	0,05	0,05	0	0,12	0,07	0,07	0,05	0,05					
	CaO	14,38	13,70	13,24	15,26	11,85	11,30	11,78	9,99	7,46	11,69	12,41	12,41	12,41	10,32	11,55					
	Na <sub>2</sub> O	3,35	3,75	3,80	2,75	4,72	5,19	4,69	5,75	7,10	5,00	4,50	4,50	4,50	5,51	4,90					
	K <sub>2</sub> O	0,11	0,11	0,15	0,08	0,32	0,32	0,31	0,44	0,63	0,38	0,30	0,30	0,30	0,44	0,32					
	Total	99,58	99,97	100,32	100,06	99,92	100,30	100,07	99,95	99,85	100,57	99,79	99,79	99,79	100,87	100,10					
	Si	9,2340	9,3800	9,4640	9,0220	9,7960	9,8740	9,8020	10,1390	10,6220	9,7980	9,6250	9,6250	9,6250	10,0820	9,7650					
Al	6,5620	6,4220	6,3670	6,8190	5,9920	5,9310	5,9960	5,7150	5,2520	5,9850	6,1780	6,1780	6,1780	5,7490	6,0740						
Fe3	0,1230	0,1320	0,1290	0,1310	0,1150	0,1180	0,1280	0,0870	0,0710	0,1160	0,1170	0,1170	0,1170	0,1140	0,1120						
Ti	0,0060	0,0060	0,0100	0,0000	0,0120	0,0080	0,0110	0,0040	0,0100	0,0160	0,0090	0,0090	0,0090	0,0160	0,0140						
Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000						
Mn	0,0000	0,0030	0,0040	0,0040	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0070	0,0070	0,0070	0,0000	0,0020						
Mg	0,0430	0,0290	0,0350	0,0250	0,0340	0,0210	0,0310	0,0150	0,0010	0,0320	0,0190	0,0190	0,0190	0,0120	0,0130						
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000						
Ca	2,8300	2,6780	2,5740	2,9930	2,3070	2,1870	2,2870	1,9310	1,4350	2,2600	2,4240	2,4240	2,4240	1,9800	2,2430						
Na	1,1930	1,3280	1,3370	0,9750	1,6610	1,8180	1,6490	2,0130	2,4690	1,7490	1,5910	1,5910	1,5910	1,9140	1,7200						
K	0,0260	0,0250	0,0340	0,0190	0,0750	0,0740	0,0710	0,1010	0,1450	0,0870	0,0690	0,0690	0,0690	0,1010	0,0730						
Cátions	20,0170	20,0030	19,9540	19,9880	19,9960	20,0310	19,9750	20,0050	20,0060	20,0430	20,0390	20,0390	20,0390	19,9680	20,0160						
X	15,9250	15,9400	15,9700	15,9720	15,9150	15,9310	15,9370	15,9450	15,9550	15,9150	15,9290	15,9290	15,9290	15,9610	15,9650						
Z	4,0920	4,0630	3,9840	4,0160	4,0810	4,1000	4,0380	4,0600	4,0510	4,1280	4,1100	4,1100	4,1100	4,0070	4,0510						
Ab	29,5000	32,9000	33,9000	24,5000	41,1000	44,6000	41,2000	49,8000	61,0000	42,7000	39,0000	39,0000	39,0000	47,9000	42,6000						
An	69,9000	66,4000	65,2000	75,1000	57,1000	53,6000	57,1000	47,7000	35,4000	55,2000	59,4000	59,4000	59,4000	49,6000	55,6000						
Or	0,6000	0,6000	0,9000	0,5000	1,9000	1,8000	1,8000	2,5000	3,6000	2,1000	1,7000	1,7000	1,7000	2,5000	1,8000						

SILL		PONTA GROSSA													
Amostra	36/93a	36/93d	36/91b	36/91c	36/91c	36/91d	36/91a	36/91a	35/89d	35/89d	35/89d	35/89f	35/89a	35/89a	
Tamanho	matriz	microfen	fenó	microfen	microfen	matriz	fenó	fenó	microfen	microfen	microfen	matriz	fenó	fenó	
Zona	núcleo	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	borda	cen/bor	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	
Óxidos (% em peso)															
SiO <sub>2</sub>	54,35	53,91	54,00	52,90	53,48	53,72	52,77	52,81	52,18	56,72	52,88	53,15	54,63	52,19	
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,07	0,10	0,07	0,10	0,08	0,11	0,10	0,08	0,06	0,14	0,05	0,09	0,04	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,05	27,92	28,46	28,45	28,63	28,24	29,32	28,78	29,49	26,76	28,85	28,34	27,53	28,88	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,91	1,01	0,76	0,84	0,79	0,85	0,80	0,76	0,86	0,55	0,72	0,69	0,69	0,70	
MnO	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	
MgO	0,08	0,06	0,10	0,09	0,11	0,08	0,11	0,09	0,11	0,04	0,14	0,09	0,08	0,12	
CaO	11,23	11,47	12,00	12,00	11,98	11,59	12,32	12,17	13,09	9,65	12,62	11,65	10,81	12,88	
Na <sub>2</sub> O	4,85	4,84	4,51	4,53	4,63	4,79	4,41	4,51	3,92	5,96	4,18	4,79	5,15	4,03	
K <sub>2</sub> O	0,34	0,34	0,31	0,27	0,28	0,27	0,25	0,29	0,21	0,41	0,25	0,25	0,33	0,24	
Total	99,90	99,63	100,24	99,15	99,99	99,62	100,09	99,51	99,94	100,16	99,79	99,00	99,31	99,09	
Si	9,8530	9,8160	9,7670	9,6890	9,7080	9,7780	9,5800	9,6430	9,5030	10,2010	9,6280	9,7370	9,9470	9,5790	
Al	5,9890	5,9880	6,0640	6,1370	6,1190	6,0530	6,2690	6,1880	6,3240	5,6680	6,1860	6,1150	5,9040	6,2420	
Fe3	0,1240	0,1390	0,1040	0,1160	0,1080	0,1160	0,1090	0,1040	0,1180	0,0740	0,0980	0,0950	0,0940	0,0960	
Ti	0,0070	0,0100	0,0130	0,0100	0,0130	0,0110	0,0150	0,0140	0,0110	0,0080	0,0200	0,0060	0,0120	0,0060	
Fe2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Mn	0,0040	0,0020	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0010	0,0000	0,0000	0,0010	
Mg	0,0210	0,0160	0,0280	0,0250	0,0290	0,0230	0,0310	0,0240	0,0300	0,0120	0,0370	0,0230	0,0210	0,0330	
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Ca	2,1810	2,2370	2,3250	2,3540	2,3300	2,2610	2,3970	2,3800	2,5530	1,8590	2,4620	2,2870	2,1080	2,5340	
Na	1,7060	1,7090	1,5820	1,6080	1,6280	1,6890	1,5540	1,5980	1,3830	2,0780	1,4760	1,7000	1,8190	1,4330	
K	0,0790	0,0790	0,0720	0,0630	0,0650	0,0630	0,0570	0,0680	0,0500	0,0950	0,0570	0,0590	0,0770	0,0560	
Cátions	19,9640	19,9960	19,9550	20,0020	20,0010	19,9940	20,0120	20,0190	19,9720	19,9970	19,9650	20,0220	19,9820	19,9800	
X	15,9730	15,9530	15,9480	15,9520	15,9480	15,9580	15,9730	15,9490	15,9560	15,9510	15,9320	15,9530	15,9570	15,9230	
Z	3,9910	4,0430	4,0070	4,0500	4,0530	4,0360	4,0390	4,0700	4,0160	4,0460	4,0330	4,0690	4,0250	4,0570	
Ab	43,0000	42,5000	39,8000	40,0000	40,5000	42,1000	38,8000	39,5000	34,7000	51,5000	36,9000	42,0000	45,4000	35,6000	
An	55,0000	55,6000	58,4000	58,5000	57,9000	56,3000	59,8000	58,8000	64,0000	46,1000	61,6000	56,5000	52,6000	63,0000	
Or	2,0000	2,0000	1,8000	1,6000	1,6000	1,6000	1,4000	1,7000	1,3000	2,4000	1,4000	1,5000	1,9000	1,4000	



# **anexo V**

**Composição química e fórmula estrutural dos piroxênios das  
rochas estudadas**

SILL		RESERVA							
Amostra	15/34a	15/34a	15/35c	15/35e	15/35e	15/36c	15/36c	15/36d	15/36d
Tamanho	feno	feno	matriz	feno	feno	feno	feno	feno	feno
Zona	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo
<i>Óxidos (% em peso)</i>									
SiO <sub>2</sub>	49,08	54,15	50,12	51,67	51,03	48,61	50,76	48,92	49,64
TiO <sub>2</sub>	0,75	0,62	1,66	1,10	1,35	1,79	1,25	1,63	1,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,97	2,69	2,79	1,60	2,20	4,15	3,06	3,79	3,48
FeO	22,68	18,63	11,89	14,48	12,31	12,03	12,01	11,58	11,07
MnO	0,55	0,43	0,32	0,45	0,34	0,23	0,29	0,27	0,29
MgO	6,54	6,02	14,38	15,88	13,54	14,01	15,61	14,42	14,5
CaO	18,63	16,65	18,42	14,56	18,77	18,23	16,83	18,36	18,77
Na <sub>2</sub> O	0,20	0,44	0,28	0,19	0,26	0,39	0,34	0,32	0,35
K <sub>2</sub> O	0,01	0,90	0	0	0	0	0	0,01	0
Total	99,39	100,53	99,87	99,92	99,80	99,43	100,15	99,28	99,72
TSi	1,9570	2,1120	1,8810	1,9410	1,9250	1,8300	1,8880	1,8410	1,8580
TAI	0,0430	0,0000	0,1190	0,0590	0,0750	0,1700	0,1120	0,1590	0,1420
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0030	0,1240	0,0040	0,0110	0,0230	0,0140	0,0220	0,0090	0,0110
M1Ti	0,0220	0,0180	0,0470	0,0310	0,0380	0,0510	0,0350	0,0460	0,0450
M1Fe3	0,0110	0,0000	0,0420	0,0000	0,0000	0,0830	0,0450	0,0810	0,0650
M1Fe2	0,5750	0,5080	0,1030	0,0680	0,1770	0,0660	0,0330	0,0550	0,0690
M1Mg	0,3880	0,3500	0,8050	0,8890	0,7620	0,7860	0,8660	0,8090	0,8090
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M2Fe2	0,1700	0,1000	0,2280	0,3860	0,2120	0,2290	0,2960	0,2280	0,2120
M2Mn	0,0180	0,0140	0,0100	0,0140	0,0110	0,0070	0,0090	0,0090	0,0090
M2Ca	0,7960	0,6960	0,7410	0,5860	0,7590	0,7350	0,6710	0,7400	0,7530
M2Na	0,0150	0,0330	0,0210	0,0140	0,0190	0,0280	0,0250	0,0230	0,0260
M2K	0,0000	0,0450	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sum_cat	4,0000	3,9550	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000
Ca	40,8510	41,7210	39,2680	30,1280	39,5220	40,3050	35,7990	40,2100	40,6410
Mg	19,9430	20,9970	42,6530	45,7440	39,6780	43,0970	46,2060	43,9320	43,6780
Fe2_Mn	39,2060	37,2820	18,0800	24,1280	20,8000	16,5980	17,9940	15,8580	15,6810
JD1	0,1430	4,5130	0,2000	0,5810	0,9720	0,7420	1,1390	0,4640	0,6080
AE1	0,6750	0,0000	0,8970	0,1160	0,0000	0,8020	0,1700	0,7910	0,7670
CFTS1	0,0000	0,0000	1,3330	0,0000	0,0000	3,7120	2,2290	3,5710	2,7310
CTTS1	1,1550	0,0000	2,4720	1,5990	1,9940	2,7410	1,8150	2,4890	2,4270
CATS1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2380	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WO1	39,7490	40,1780	35,2450	28,5410	37,1320	33,3900	31,4210	33,8290	35,1260
EN1	19,9690	20,2200	42,4160	45,7630	39,5190	42,6030	45,8220	43,5830	43,2960
FS1	38,3090	35,0900	17,4380	23,4000	20,1460	16,0110	17,3680	15,2720	15,0450
Q	1,9290	1,6540	1,8760	1,9300	1,9090	1,8170	1,8640	1,8320	1,8430
J	0,0310	0,0670	0,0410	0,0270	0,0370	0,0570	0,0490	0,0460	0,0510
Wo	40,6230	41,7210	38,4060	30,1280	39,5220	38,5450	34,9540	38,5160	39,2550
Ens	19,8320	20,9970	41,7170	45,7440	39,6780	41,2150	45,1150	42,0810	42,1900
Fs	39,5450	37,2820	19,8770	24,1280	20,8000	20,2400	19,9320	19,4020	18,5550
WEF	98,4370	96,1630	97,8560	98,6260	98,0860	96,9810	97,4270	97,5560	97,3010
Jd	0,3180	3,8370	0,1760	1,3740	1,9140	0,4260	0,8280	0,2350	0,4000
Ae	1,2450	0,0000	1,9680	0,0000	0,0000	2,5930	1,7440	2,2090	2,3000

SILL		RESERVA							
Amostra	16/39c	16/39c	16/39g	16/39g	16/39h	19/44b	19/44b	19/44e	19/45d
Tamanho	feno	feno	feno	feno	matriz	feno	feno	matriz	microfen
Zona	borda	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda
<i>Óxidos (% em peso)</i>									
SiO <sub>2</sub>	51,24	51,01	50,83	51,71	51,39	50,94	49,92	49,49	50,90
TiO <sub>2</sub>	0,95	1,28	0,51	1,01	0,74	1,37	1,72	1,80	1,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,63	2,03	1,00	1,69	1,32	2,63	3,58	3,21	2,31
FeO	14,28	11,60	19,45	12,93	14,79	10,91	12,59	12,25	10,95
MnO	0,38	0,24	0,55	0,35	0,37	0,25	0,24	0,27	0,27
MgO	13,67	14,15	11,00	14,29	13,67	15,04	14,56	14,91	15,43
CaO	17,43	18,81	16,32	17,82	17,07	18,62	17,10	17,57	17,94
Na <sub>2</sub> O	0,19	0,25	0,21	0,25	0,21	0,31	0,36	0,28	0,27
K <sub>2</sub> O	0	0,01	0,00	0,01	0	0	0,01	0	0
Total	99,78	99,38	99,86	100,05	99,55	100,07	100,08	99,77	99,32
TSi	1,9420	1,9250	1,9660	1,9430	1,9530	1,8980	1,8680	1,8560	1,9080
TAI	0,0580	0,0750	0,0340	0,0570	0,0470	0,1020	0,1320	0,1420	0,0920
TFe3	0,0000	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030	0,0000
M1Al	0,0140	0,0150	0,0120	0,0180	0,0120	0,0130	0,0260	0,0000	0,0100
M1Ti	0,0270	0,0360	0,0150	0,0280	0,0210	0,0380	0,0480	0,0510	0,0350
M1Fe3	0,0040	0,0060	0,0080	0,0000	0,0070	0,0350	0,0350	0,0630	0,0310
M1Fe2	0,1820	0,1470	0,3310	0,1530	0,1850	0,0790	0,0780	0,0530	0,0620
M1Mg	0,7720	0,7960	0,6340	0,8010	0,7740	0,8350	0,8120	0,8330	0,8620
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M2Fe2	0,2660	0,2130	0,2900	0,2530	0,2780	0,2260	0,2800	0,2660	0,2510
M2Mn	0,0120	0,0080	0,0180	0,0110	0,0120	0,0080	0,0080	0,0080	0,0080
M2Ca	0,7080	0,7600	0,6760	0,7170	0,6950	0,7430	0,6860	0,7060	0,7210
M2Na	0,0140	0,0180	0,0160	0,0180	0,0150	0,0220	0,0260	0,0200	0,0200
M2K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sum_cat	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000
Ca	36,4740	39,5160	34,6900	37,0700	35,7440	39,2910	36,7870	37,8130	37,8450
Mg	39,7990	41,3690	32,5340	41,3710	39,8280	44,1460	43,5720	44,6530	45,2900
Fe2_Mn	23,7280	19,1150	32,7770	21,5590	24,4280	16,5620	19,6420	17,5340	16,8650
JD1	0,7250	0,7790	0,6040	0,9200	0,6380	0,6870	1,3640	0,0000	0,5380
AE1	0,0180	0,1880	0,2020	0,0150	0,1460	0,4880	0,0390	1,0720	0,4950
CFTS1	0,2120	0,1320	0,2130	0,0010	0,2110	1,3350	1,8450	2,2650	1,1000
CTTS1	1,3930	1,8730	0,7590	1,4620	1,0890	2,0090	2,5730	2,7000	1,8400
CATS1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WO1	34,8290	37,2870	33,7570	35,4730	34,3800	35,6520	32,0030	32,6120	34,6810
EN1	39,7550	41,1350	32,5700	41,2220	39,7570	43,8130	43,1380	44,3740	45,0220
FS1	23,0680	18,6060	31,8950	20,9060	23,7790	16,0170	19,0390	16,9770	16,3240
Q	1,9280	1,9160	1,9320	1,9240	1,9320	1,8830	1,8560	1,8580	1,8960
J	0,0290	0,0370	0,0310	0,0360	0,0310	0,0450	0,0520	0,0400	0,0400
Wo	36,3900	39,3890	34,5460	37,0640	35,6170	38,5830	36,1000	36,5350	37,2480
Ens	39,7070	41,2360	32,3990	41,3640	39,6860	43,3500	42,7580	43,1430	44,5750
Fs	23,9030	19,3740	33,0540	21,5720	24,6970	18,6700	21,1420	20,3220	18,1770
WEF	98,5520	98,1270	98,4250	98,1810	98,4550	97,6870	97,2890	97,8880	97,9650
Jd	1,0990	1,3290	0,9330	1,7870	0,9910	0,6330	1,1390	0,0000	0,5130
Ae	0,3490	0,5450	0,6420	0,0320	0,5540	1,6800	1,5730	2,1120	1,5220

SILL		RESERVA						PRUDENTÓPOLIS	
Amostra	19/45d	19/45e	19/46a	19/46a	19/46d	19/46e	19/46e	23/56a	23/56a
Tamanho	microfen	matriz	microfen	microfen	matriz	feno	feno	feno	feno
Zona	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo
<i>Óxidos (% em peso)</i>									
SiO <sub>2</sub>	49,45	50,35	50,42	50,89	49,88	50,47	49,48	51,61	51,07
TiO <sub>2</sub>	1,43	1,51	1,47	0,47	1,42	1,45	1,71	0,92	1,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,69	2,40	2,59	0,61	2,84	2,69	3,81	1,70	2,23
FeO	11,94	12,48	12,03	25,30	11,59	12,13	11,34	13,48	12,38
MnO	0,30	0,35	0,27	1,04	0,34	0,30	0,24	0,27	0,26
MgO	13,86	14,6	14,90	16,07	14,26	15,34	14,14	14,81	14,67
CaO	17,92	17,40	17,50	4,74	18,44	16,81	18,16	17,16	17,88
Na <sub>2</sub> O	0,46	0,29	0,26	0,07	0,31	0,32	0,35	0,22	0,22
K <sub>2</sub> O	0	0	0,00	0	0,01	0	0	0	0
Total	99,05	99,38	99,44	99,19	99,08	99,50	99,23	100,16	99,81
TSi	1,8690	1,9000	1,8970	1,9730	1,8840	1,8930	1,8640	1,9350	1,9170
TAI	0,1310	0,1000	0,1030	0,0270	0,1160	0,1070	0,1360	0,0650	0,0830
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0330	0,0060	0,0110	0,0000	0,0100	0,0120	0,0330	0,0100	0,0160
M1Ti	0,0410	0,0430	0,0420	0,0140	0,0400	0,0410	0,0480	0,0260	0,0310
M1Fe3	0,0500	0,0290	0,0270	0,0040	0,0480	0,0350	0,0310	0,0190	0,0200
M1Fe2	0,0950	0,1010	0,0840	0,0520	0,0990	0,0540	0,0930	0,1170	0,1120
M1Mg	0,7810	0,8210	0,8350	0,9290	0,8030	0,8580	0,7940	0,8280	0,8210
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M2Fe2	0,2310	0,2650	0,2670	0,7640	0,2200	0,2920	0,2330	0,2860	0,2570
M2Mn	0,0100	0,0110	0,0090	0,0340	0,0110	0,0100	0,0080	0,0080	0,0080
M2Ca	0,7260	0,7030	0,7050	0,1970	0,7460	0,6760	0,7330	0,6890	0,7190
M2Na	0,0330	0,0210	0,0190	0,0050	0,0230	0,0230	0,0260	0,0160	0,0160
M2K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sum_cat	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000
Ca	39,3810	36,9990	37,1160	9,9600	39,7250	35,7750	39,3870	35,7290	37,5110
Mg	42,3640	43,2100	43,9490	47,0150	42,7370	45,4240	42,6500	42,9060	42,8080
Fe2_Mn	18,2550	19,7910	18,9350	43,0250	17,5380	18,8000	17,9620	21,3650	19,6810
JD1	1,7640	0,3400	0,5900	0,0210	0,5440	0,6530	1,3720	0,5160	0,8210
AE1	0,0340	0,7560	0,4020	0,2530	0,6780	0,5520	0,0000	0,2950	0,0060
CFTS1	2,6710	0,7540	1,0300	0,0000	1,8470	1,2820	1,6390	0,6810	1,0110
CTTS1	2,1730	2,2350	2,1800	0,7100	2,1300	2,1500	2,5770	1,3320	1,6310
CATS1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3690	0,0000	0,0000
WO1	34,0310	33,8200	33,7080	9,3980	35,4940	32,0920	34,3970	33,5830	34,7200
EN1	41,8190	42,9890	43,7120	47,7130	42,4630	45,1050	42,2410	42,7460	42,6390
FS1	17,5090	19,1060	18,3780	41,9050	16,8440	18,1670	17,3770	20,8480	19,1710
Q	1,8330	1,8900	1,8920	1,9420	1,8680	1,8790	1,8540	1,9210	1,9090
J	0,0670	0,0420	0,0380	0,0110	0,0460	0,0460	0,0520	0,0310	0,0320
Wo	38,3310	36,4460	36,5900	9,9380	38,7400	35,1270	38,7460	35,3830	37,1320
Ens	41,2340	42,5640	43,3250	46,9090	41,6770	44,6010	41,9560	42,4900	42,3750
Fs	20,4350	20,9900	20,0860	43,1540	19,5830	20,2720	19,2980	22,1280	20,4930
WEF	96,5000	97,8460	98,0430	99,4630	97,6320	97,6310	97,3040	98,3980	98,3720
Jd	1,3810	0,3960	0,5710	0,0450	0,4200	0,6220	1,3990	0,5540	0,7270
Ae	2,1180	1,7580	1,3860	0,4920	1,9480	1,7470	1,2970	1,0470	0,9010

<b>SILL</b>	<b>PRUDENTOPOLIS</b>						<b>REBOUÇAS</b>		
<i>Amostra</i>	23/56b	23/56c	23/56c	23/57h	25/64e	25/64e	25/64i	32/76d	32/76d
<i>Tamanho</i>	matriz	microfen	microfen	matriz	microfen	microfen	matriz	microfen	microfen
<i>Zona</i>	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo
<i>Óxidos (% em peso)</i>									
SiO <sub>2</sub>	51,81	51,59	52,20	51,16	50,45	51,61	49,87	52,42	51,52
TiO <sub>2</sub>	1,06	0,85	0,51	1,01	1,77	1,32	2,06	1,00	1,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,83	1,47	0,74	1,81	3,01	2,43	3,53	1,59	2,21
FeO	11,58	14,14	22,50	12,31	12,24	9,64	9,86	10,06	10,23
MnO	0,22	0,26	0,40	0,21	0,24	0,21	0,16	0,26	0,22
MgO	15,4	14,61	18,99	14,87	15,83	16,68	14,84	16,53	16,36
CaO	17,96	14,04	4,27	17,68	16,37	17,81	19,21	17,23	17,22
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,20	0,05	0,23	0,24	0,24	0,29	0,23	0,26
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0,02	0
Total	100,11	100,16	99,66	99,30	100,17	99,94	99,81	99,33	99,18
TSi	1,9310	1,9390	1,9780	1,9290	1,8790	1,9090	1,8600	1,9550	1,9250
TAI	0,0690	0,0610	0,0220	0,0710	0,1210	0,0910	0,1400	0,0450	0,0750
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0120	0,0040	0,0110	0,0090	0,0110	0,0150	0,0150	0,0250	0,0220
M1Ti	0,0300	0,0240	0,0150	0,0290	0,0500	0,0370	0,0580	0,0280	0,0330
M1Fe3	0,0160	0,0230	0,0000	0,0220	0,0270	0,0190	0,0290	0,0000	0,0070
M1Fe2	0,0870	0,1310	0,0000	0,1040	0,0330	0,0090	0,0720	0,0280	0,0280
M1Mg	0,8560	0,8180	0,9750	0,8360	0,8790	0,9200	0,8250	0,9190	0,9110
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0970	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M2Fe2	0,2580	0,2910	0,7130	0,2620	0,3210	0,2700	0,2060	0,2860	0,2850
M2Mn	0,0070	0,0080	0,0130	0,0070	0,0080	0,0060	0,0050	0,0080	0,0070
M2Ca	0,7170	0,6860	0,1730	0,7140	0,6530	0,7060	0,7680	0,6890	0,6890
M2Na	0,0180	0,0140	0,0030	0,0170	0,0170	0,0170	0,0210	0,0170	0,0190
M2K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000
Sum_cat	4,0000	4,0000	4,0000	3,9990	4,0000	4,0000	4,0000	3,9990	4,0000
Ca	37,2550	35,4720	8,8000	37,1440	34,4970	36,9220	40,9200	35,6930	35,8820
Mg	44,4450	42,3020	54,3930	43,4750	46,4160	48,1140	43,9780	47,6280	47,4520
Fe2_Mn	18,3000	22,2260	36,8070	19,3810	19,0870	14,9640	15,1020	16,6800	16,6670
JD1	0,6020	0,2160	0,1760	0,4710	0,5900	0,7980	0,8180	0,9150	0,9640
AE1	0,3260	0,5240	0,0000	0,4460	0,3290	0,0860	0,3060	0,0000	0,0000
CFTS1	0,4790	0,6560	0,0000	0,6990	1,1070	0,8830	1,2410	0,0000	0,3390
CTTS1	1,5320	1,2400	0,7420	1,4860	2,6060	1,9070	3,0550	1,4440	1,6910
CATS1	0,0000	0,0000	0,3680	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,3830	0,1660
WO1	35,0320	33,4650	7,7320	34,7460	30,6040	33,9290	36,2740	33,6880	33,4690
EN1	44,1920	42,1700	54,6560	43,2250	46,1730	47,8510	43,6020	47,3900	47,1650
FS1	17,8360	21,7290	36,3260	18,9280	18,5910	14,5450	14,7040	16,1810	16,2060
Q	1,9180	1,9260	1,9580	1,9160	1,8870	1,9060	1,8710	1,9210	1,9130
J	0,0360	0,0290	0,0070	0,0340	0,0350	0,0340	0,0430	0,0340	0,0370
Wo	36,9560	35,0570	8,8000	36,7210	34,0060	36,5660	40,2910	35,6930	35,7600
Ens	44,0880	41,8070	54,3930	42,9800	45,7550	47,6490	43,3030	47,6280	47,2900
Fs	18,9560	23,1360	36,8070	20,2990	20,2390	15,7850	16,4060	16,6800	16,9500
WEF	98,1860	98,5370	99,6510	98,2660	98,2100	98,2530	97,7830	98,2760	98,0980
Jd	0,7760	0,2260	0,3490	0,5060	0,5210	0,7890	0,7670	1,7240	1,4620
Ae	1,0380	1,2360	0,0000	1,2280	1,2690	0,9580	1,4500	0,0000	0,4390

SILL		REBOUÇAS							
Amostra	32/76c	34/80a	34/80g	34/80g	34/80h	34/80n	34/82b	34/82b	34/82c
Tamanho	matriz	feno	microfen	microfen	matriz	matriz	feno	feno	microfen
Zona	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda
<i>Óxidos (% em peso)</i>									
SiO <sub>2</sub>	51,48	51,87	51,24	52,13	50,62	53,55	52,60	53,01	52,53
TiO <sub>2</sub>	1,16	0,38	0,55	0,42	0,51	0,21	0,30	0,38	0,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,22	2,05	1,92	2,18	1,21	0,88	2,20	2,31	2,24
FeO	10,01	10,95	15,65	9,06	20,12	17,49	9,06	8,07	8,57
MnO	0,20	0,27	0,39	0,27	0,45	0,40	0,26	0,23	0,16
MgO	16,11	16,08	15,42	16,15	11,88	22,18	16,91	17,33	17,49
CaO	17,98	17,54	13,84	18,87	14,72	4,89	18,21	18,55	18,16
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,22	0,19	0,21	0,20	0,07	0,20	0,22	0,22
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
Total	99,37	99,34	99,20	99,28	99,72	99,66	99,72	100,09	99,81
TSi	1,9200	1,9370	1,9430	1,9390	1,9560	1,9810	1,9430	1,9440	1,9320
TAI	0,0800	0,0630	0,0570	0,0610	0,0440	0,0190	0,0570	0,0560	0,0680
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0180	0,0270	0,0280	0,0350	0,0110	0,0190	0,0380	0,0430	0,0290
M1Ti	0,0320	0,0110	0,0160	0,0120	0,0150	0,0060	0,0080	0,0100	0,0120
M1Fe3	0,0140	0,0310	0,0120	0,0170	0,0180	0,0000	0,0160	0,0080	0,0290
M1Fe2	0,0400	0,0360	0,0730	0,0410	0,2710	0,0000	0,0060	0,0000	0,0000
M1Mg	0,8960	0,8950	0,8710	0,8960	0,6840	0,9750	0,9310	0,9380	0,9290
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2480	0,0000	0,0090	0,0300
M2Fe2	0,2580	0,2740	0,4110	0,2240	0,3600	0,5410	0,2570	0,2400	0,2340
M2Mn	0,0060	0,0080	0,0130	0,0080	0,0150	0,0130	0,0080	0,0070	0,0050
M2Ca	0,7810	0,7010	0,5620	0,7520	0,6090	0,1940	0,7210	0,7290	0,7150
M2Na	0,0170	0,0160	0,0140	0,0150	0,0150	0,0050	0,0140	0,0160	0,0150
M2K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sum_cat	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	3,9990	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000
Ca	37,4430	36,6260	29,1180	39,1600	31,4140	9,8320	37,4720	37,8980	37,3870
Mg	46,6900	46,7230	45,1320	46,6260	35,2650	62,0640	48,4070	49,2700	50,1030
Fe2_Mn	15,8670	16,6510	25,7500	14,2140	33,3210	28,1030	14,1210	12,8320	12,5100
JD1	0,8880	0,8360	0,7270	0,7810	0,5800	0,2410	0,7370	0,8250	0,8040
AE1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2160	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CFTS1	0,7230	1,6370	0,6090	0,8930	0,7280	0,0000	0,8470	0,4070	1,5200
CTTS1	1,6840	0,5510	0,8130	0,6020	0,7640	0,3020	0,4310	0,5410	0,6360
CATS1	0,0240	0,5490	0,7270	1,0270	0,0000	0,6780	1,2460	1,4130	0,7190
WO1	34,8000	33,7430	26,9470	36,5030	29,9090	8,8920	34,8310	35,3620	34,3090
EN1	46,4260	46,5360	45,0980	46,4660	35,2500	62,3140	48,2550	49,0440	49,8310
FS1	15,4550	16,1490	25,0790	13,7270	32,5530	27,5730	13,6530	12,4080	12,1810
Q	1,9130	1,9070	1,9180	1,9130	1,9260	1,9580	1,9150	1,9150	1,9090
J	0,0340	0,0320	0,0280	0,0300	0,0300	0,0090	0,0280	0,0320	0,0310
Wo	37,1730	36,0330	28,9420	38,8120	31,1200	9,8320	37,1560	37,7430	36,8240
Ens	46,3530	45,9680	44,8580	46,2120	34,9350	62,0640	47,9990	49,0690	49,3490
Fs	16,4740	17,9990	26,2000	14,9760	33,9450	28,1030	14,8440	13,1880	13,8270
WEF	98,2440	98,3490	98,5660	98,4620	98,4860	99,5220	98,5610	98,3700	98,4080
Jd	0,9800	0,7560	1,0110	1,0290	0,5760	0,4780	1,0080	1,3790	0,7970
Ae	0,7760	0,8940	0,4230	0,5090	0,9380	0,0000	0,4310	0,2510	0,7950

<b>SILL</b>	<b>REBOUÇAS</b>					<b>IRATI</b>				
<i>Amostra</i>	34/82c	34/82h	13/28c	13/28c	13/28i	13/30e	13/30e	13/30c	13/30c	13/30d
<i>Tamanho</i>	microfen	matriz	feno	feno	matriz	microfen	microfen	matriz	matriz	feno
<i>Zona</i>	núcleo	núcleo	borda	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
<b>Óxidos (% em peso)</b>										
SiO <sub>2</sub>	52,84	52,97	51,36	51,09	51,18	50,92	50,77	50,95	53,38	50,03
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,37	0,76	1,05	0,85	0,72	1,04	0,93	0,36	1,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,29	1,99	1,47	1,97	2,13	1,28	2,46	2,11	0,83	1,74
FeO	9,49	10,28	18,58	14,83	15,11	19,59	13,52	14,30	17,73	18,88
MnO	0,24	0,26	0,41	0,31	0,30	0,52	0,33	0,30	0,33	0,40
MgO	18,17	16,75	14,09	14,13	16,06	13,14	14,79	14,14	22,73	13,36
CaO	16,43	17,65	14,02	17,39	14,12	13,93	16,84	17,25	4,96	14,07
Na <sub>2</sub> O	0,16	0,20	0,18	0,19	0,15	0,15	0,21	0,20	0,08	0,18
K <sub>2</sub> O	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,01	0,01
Total	100,05	100,48	100,86	100,95	99,89	100,26	99,96	100,19	100,40	99,68
TSi	1,9390	1,9500	1,9400	1,9110	1,9210	1,9470	1,9060	1,9170	1,9570	1,9180
TAI	0,0610	0,0500	0,0600	0,0870	0,0790	0,0530	0,0940	0,0830	0,0360	0,0790
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0070	0,0030
M1Al	0,0380	0,0360	0,0050	0,0000	0,0150	0,0050	0,0150	0,0100	0,0000	0,0000
M1Ti	0,0120	0,0100	0,0220	0,0290	0,0240	0,0210	0,0290	0,0260	0,0100	0,0290
M1Fe3	0,0120	0,0080	0,0250	0,0430	0,0270	0,0180	0,0350	0,0350	0,0290	0,0370
M1Fe2	0,0000	0,0270	0,1550	0,1390	0,0350	0,2070	0,0930	0,1360	0,0000	0,1700
M1Mg	0,9390	0,9190	0,7930	0,7880	0,8980	0,7490	0,8280	0,7930	0,9610	0,7640
M2Mg	0,0550	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2810	0,0000
M2Fe2	0,2790	0,2810	0,4070	0,2790	0,4110	0,4010	0,2970	0,2800	0,5080	0,3950
M2Mn	0,0070	0,0080	0,0130	0,0100	0,0100	0,0170	0,0100	0,0100	0,0100	0,0130
M2Ca	0,6460	0,6960	0,5670	0,6970	0,5680	0,5710	0,6770	0,6950	0,1950	0,5780
M2Na	0,0110	0,0140	0,0130	0,0140	0,0110	0,0110	0,0150	0,0150	0,0050	0,0130
M2K	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010
Sum_cat	3,9990	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	3,9990
Ca	33,5300	36,0340	29,3130	36,4320	29,5290	29,3290	35,5520	36,3420	9,9730	30,1010
Mg	51,5830	47,5840	40,9930	41,1810	46,7300	38,5140	43,4610	41,4460	63,5310	39,7920
Fe2_Mn	14,8870	16,3820	29,6940	22,3860	23,7410	32,1570	20,9880	22,2130	26,4960	30,1070
JD1	0,6230	0,7440	0,2540	0,0000	0,5920	0,2550	0,7860	0,5390	0,0000	0,0000
AE1	0,0000	0,0000	0,4230	0,7150	0,0000	0,3330	0,0220	0,2530	0,3000	0,7220
CFTS1	0,6080	0,4270	0,8800	1,5430	1,4200	0,5800	1,8160	1,5520	1,1710	1,2240
CTTS1	0,6020	0,5300	1,1170	1,5380	1,2470	1,0660	1,5380	1,3780	0,5090	1,5120
CATS1	1,3370	1,1020	0,0000	0,0000	0,1830	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WO1	30,9040	33,8590	27,3150	33,2750	26,6500	27,7660	32,1030	33,3070	8,3150	27,3510
EN1	51,4600	47,4310	40,9910	41,0940	46,6850	38,6220	43,3450	41,3250	63,6740	39,7740
FS1	14,4650	15,9060	29,0200	21,8350	23,2220	31,3780	20,3900	21,6470	26,0310	29,4160
Q	1,9190	1,9230	1,9220	1,9040	1,9130	1,9280	1,8950	1,9040	1,9450	1,9070
J	0,0230	0,0290	0,0260	0,0270	0,0220	0,0230	0,0310	0,0300	0,0110	0,0260
Wo	33,3270	35,8800	28,9360	35,5910	29,1150	29,0640	34,9080	35,6950	9,7940	29,4800
Ens	51,2700	47,3810	40,5650	40,2300	46,0750	38,1660	42,6740	40,7090	62,3930	38,9710
Fs	15,4020	16,7390	30,5980	24,1790	24,8100	32,7690	22,4170	23,5960	27,8130	31,5500
WEF	98,8320	98,5290	98,6630	98,5870	98,8620	98,8470	98,4050	98,4760	99,4430	98,6400
Jd	0,8920	1,1950	0,2180	0,0000	0,4020	0,2520	0,4780	0,3500	0,0000	0,0000
Ae	0,2760	0,2760	1,1190	1,4130	0,7360	0,9010	1,1170	1,1740	0,5570	1,3600

SILL	IRATI					PONTA GROSSA				
Amostra	13/30d	36/93b	36/91e	36/91f	36/91g	35/89b	35/89b	35/89e	35/89e	35/89i
Tamanho	feno	matriz	feno	microfen	matriz	feno	feno	microfen	microfen	matriz
Zona	núcleo	núcleo	cen/bor	núcleo	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	núcleo
<i>Óxidos (% em peso)</i>										
SiO <sub>2</sub>	51,41	51,15	50,64	52,47	51,51	52,54	53,41	51,21	53,27	52,77
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,72	0,96	0,26	0,65	0,41	0,34	0,52	0,36	0,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,71	2,68	2,01	0,78	1,85	0,98	0,91	0,68	0,93	0,98
FeO	20,24	15,09	13,81	21,79	12,53	19,87	18,23	27,09	18,38	20,22
MnO	0,44	0,36	0,32	0,53	0,29	0,40	0,39	0,54	0,48	0,44
MgO	14,51	15,33	13,73	19,16	15,04	20,45	22,29	14,74	21,78	20,36
CaO	11,56	14,21	17,78	4,39	17,27	4,68	4,34	5,28	4,58	4,65
Na <sub>2</sub> O	0,16	0,17	0,23	0,05	0,23	0,05	0,05	0,08	0,07	0,05
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Total	100,91	99,72	99,49	99,42	99,36	99,38	99,97	100,14	99,84	99,91
TSi	1,9450	1,9260	1,9200	1,9870	1,9390	1,9720	1,9730	1,9830	1,9740	1,9730
TAI	0,0550	0,0740	0,0800	0,0130	0,0610	0,0280	0,0270	0,0170	0,0260	0,0270
TFe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Al	0,0210	0,0450	0,0090	0,0220	0,0210	0,0150	0,0120	0,0140	0,0150	0,0160
M1Ti	0,0250	0,0200	0,0270	0,0070	0,0180	0,0110	0,0100	0,0150	0,0100	0,0120
M1Fe3	0,0000	0,0000	0,0340	0,0000	0,0210	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M1Fe2	0,1360	0,0730	0,1540	0,0000	0,0960	0,0000	0,0000	0,1200	0,0000	0,0000
M1Mg	0,8180	0,8610	0,7760	0,9700	0,8440	0,9730	0,9780	0,8510	0,9750	0,9710
M2Mg	0,0000	0,0000	0,0000	0,1110	0,0000	0,1710	0,2490	0,0000	0,2280	0,1640
M2Fe2	0,5050	0,4020	0,2500	0,6900	0,2780	0,6240	0,5630	0,7570	0,5700	0,6320
M2Mn	0,0140	0,0110	0,0100	0,0170	0,0090	0,0130	0,0120	0,0180	0,0150	0,0140
M2Ca	0,4680	0,5730	0,7220	0,1780	0,6960	0,1880	0,1720	0,2190	0,1820	0,1860
M2Na	0,0120	0,0130	0,0170	0,0030	0,0170	0,0030	0,0040	0,0060	0,0050	0,0030
M2K	0,0010	0,0000	0,0010	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sum_cat	3,9990	4,0000	3,9990	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000
Ca	24,1290	29,8520	37,7580	9,0530	36,2050	9,5620	8,7000	11,1550	9,2360	9,4590
Mg	42,1580	44,8100	40,5720	54,9910	43,8900	58,1100	62,1650	43,3120	61,0920	57,6840
Fe2_Mn	33,7130	25,3370	21,6700	35,9550	19,9040	32,3280	29,1340	45,5330	29,6730	32,8570
JD1	0,6490	0,6800	0,4910	0,1770	0,8770	0,1950	0,2110	0,3090	0,2590	0,1830
AE1	0,0000	0,0000	0,4320	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CFTS1	0,0000	0,0000	1,3160	0,0000	1,0700	0,0000	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000
CTTS1	1,2690	1,0650	1,4300	0,3760	0,9460	0,5850	0,4830	0,7740	0,5050	0,6370
CATS1	0,4560	1,6820	0,0000	0,2720	0,2000	0,5870	0,4040	0,0970	0,4980	0,6590
WO1	22,4220	27,0800	34,8640	8,4680	33,8430	8,4340	7,8300	10,3500	8,2790	8,2140
EN1	42,1880	44,7730	40,4140	55,3730	43,7120	58,3750	62,4230	43,5680	61,4020	57,9920
FS1	33,0170	24,7190	21,0530	35,3340	19,3530	31,8240	28,6290	44,9030	29,0560	32,3150
Q	1,9270	1,9100	1,9020	1,9500	1,9140	1,9570	1,9620	1,9470	1,9550	1,9530
J	0,0240	0,0250	0,0340	0,0070	0,0340	0,0070	0,0080	0,0120	0,0100	0,0070
Wo	24,1290	29,8520	37,1070	9,0530	35,8210	9,5620	8,6990	11,1550	9,2360	9,4590
Ens	42,1580	44,8100	39,8730	54,9910	43,4240	58,1100	62,1540	43,3120	61,0920	57,6840
Fs	33,7130	25,3370	23,0200	35,9550	20,7550	32,3280	29,1480	45,5330	29,6730	32,8570
WEF	98,7830	98,7020	98,2550	99,6500	98,2700	99,6460	99,6100	99,4150	99,4920	99,6620
Jd	1,2170	1,2980	0,3830	0,3500	0,8680	0,3540	0,3790	0,5850	0,5080	0,3380
Ae	0,0000	0,0000	1,3620	0,0000	0,8620	0,0000	0,0120	0,0000	0,0000	0,0000



# **anexo VI**

**Composição química e fórmula estrutural de olivinas das rochas  
estudadas**

<b>SILL</b>		<b>RESERVA</b>		
Amostra	15/34f	15/34f	15/34g	15/34g2
<i>Tamanho</i>	microfen	microfen	matriz	matriz
<i>Zona</i>	centro	borda	centro	centro
SiO <sub>2</sub>	30,42	30,49	29,98	30,17
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,07	0,08	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,04	0,01	0,01
FeO	62,60	62,92	62,63	62,57
MnO	1,07	1,20	1,17	1,14
MgO	3,63	3,65	3,86	3,83
CaO	0,28	0,31	0,32	0,32
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,00	0,02
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,12	98,70	98,05	98,17
Si	1,0140	1,0120	1,0030	1,0070
Al	0,0020	0,0020	0,0010	0,0000
Ti	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030
Fe2	1,7450	1,7460	1,7520	1,7460
Mn	0,0300	0,0340	0,0330	0,0320
Mg	0,1800	0,1800	0,1920	0,1910
Ca	0,0100	0,0110	0,0120	0,0110
Na	0,0010	0,0010	0,0000	0,0010
K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ni	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cátions	2,9840	2,9880	2,9950	2,9910
Fe_FeMg	0,9100	0,9100	0,9000	0,9000
Mg_FeMg	0,0900	0,0900	0,1000	0,1000

# **anexo VII**

**Composição química e fórmula estrutural dos minerais opacos  
das rochas estudadas**

<b>SILL</b>	<b>RESERVA</b>					<b>PRUDENTÓPOLIS</b>			
<i>Amostra</i>	15/34i	15/35d	15/35g	16/39i	19/45b	23/56h	23/56i	23/57d	23/57g
<i>Tamanho</i>	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz
<i>Zona</i>	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro
SiO <sub>2</sub>	0,14	0,03	0,02	0,08	0,03	0,01	0,05	0,05	0,00
TiO <sub>2</sub>	10,83	49,40	49,08	11,86	46,19	48,04	46,26	46,06	47,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,12	0,02	0,03	1,90	0,09	0,04	0,08	0,06	0,05
FeO	81,25	48,07	48,10	80,40	49,68	48,89	50,97	49,08	48,62
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02
MnO	0,54	0,47	0,51	0,32	0,54	0,62	0,48	0,44	0,41
MgO	0,08	0,39	0,36	0,17	0,33	0,64	0,73	1,05	1,33
CaO	0,02	0,08	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	93,97	98,45	98,13	94,76	96,91	98,26	98,60	96,75	98,08
Si	0,0500	0,0020	0,0010	0,0300	0,0020	0,0010	0,0030	0,0030	0,0000
Al	0,4850	0,0010	0,0020	0,8030	0,0050	0,0030	0,0050	0,0040	0,0030
Ti	2,9930	1,9280	1,9240	3,2020	1,8570	1,8890	1,8310	1,8480	1,8730
Fe2	24,9660	2,0850	2,0960	24,1310	2,2210	2,1380	2,2440	2,1890	2,1260
Fe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cr	0,0000	0,0000	0,0000	0,0060	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0010
Mn	0,1690	0,0210	0,0220	0,0960	0,0250	0,0270	0,0210	0,0200	0,0180
Mg	0,0430	0,0300	0,0280	0,0930	0,0270	0,0500	0,0570	0,0840	0,1030
Ca	0,0070	0,0050	0,0010	0,0020	0,0020	0,0000	0,0000	0,0010	0,0010
Cátions	28,7130	4,0720	4,0740	28,3630	4,1390	4,1080	4,1620	4,1490	4,1250

<b>SILL</b>	<b>IRATI</b>			<b>REBOUÇAS</b>			<b>PONTA GROSSA</b>		
<b>Amostra</b>	13/28j	13/28a	13/30h	32/76g	34/80i	34/82g	35/89c	36/91j	36/93e
<b>Tamanho</b>	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz	matriz
<b>Zona</b>	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro	centro
SiO <sub>2</sub>	0,05	0,22	0,03	0,04	2,21	0,67	0,33	1,27	0,50
TiO <sub>2</sub>	48,90	18,46	49,09	49,09	19,69	20,12	20,55	27,15	13,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	1,59	0,04	0,10	1,35	1,54	2,12	2,21	1,49
FeO	49,38	73,13	49,66	47,99	65,79	70,93	68,45	63,25	77,20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,00	0,03	0,05	0,00	0,09	0,02	0,02
MnO	0,53	1,27	0,48	0,40	0,77	0,60	1,44	1,32	1,24
MgO	0,33	0,13	0,17	1,00	0,18	0,34	0,09	0,63	0,05
CaO	0,02	0,01	0,02	0,01	2,60	0,04	0,03	0,06	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>99,23</b>	<b>94,81</b>	<b>99,48</b>	<b>98,66</b>	<b>92,64</b>	<b>94,24</b>	<b>93,09</b>	<b>95,92</b>	<b>93,72</b>
Si	0,0020	0,0750	0,0010	0,0020	0,7430	0,2260	0,1120	0,3970	0,1780
Al	0,0020	0,6430	0,0030	0,0060	0,5340	0,6140	0,8500	0,8140	0,6310
Ti	1,9030	4,7540	1,9070	1,9080	4,9770	5,1130	5,2590	6,3840	3,5480
Fe2	2,1360	20,9380	2,1440	2,0740	18,4930	20,0410	19,4770	16,5390	23,1600
Fe3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cr	0,0000	0,0020	0,0000	0,0010	0,0120	0,0010	0,0240	0,0060	0,0040
Mn	0,0230	0,3680	0,0210	0,0180	0,2200	0,1710	0,4150	0,3500	0,3760
Mg	0,0250	0,0670	0,0130	0,0770	0,0920	0,1730	0,0450	0,2950	0,0260
Ca	0,0010	0,0020	0,0010	0,0000	0,9340	0,0130	0,0090	0,0210	0,0310
Cátions	4,0920	26,8490	4,0900	4,0860	26,0050	26,3520	26,1910	24,8060	27,9540

# **anexo VIII**

**Composição química e fórmula estrutural de anfibólios das  
rochas estudadas**

<b>SILL</b>	<b>IRATI</b>		<b>RESERVA</b>		<b>PRUDENTÓPOLIS</b>		<b>PONTA GROSSA</b>		<b>REBOUÇAS</b>
<b>Amostra</b>	<b>13/28b</b>	<b>13/30f</b>	<b>15/34d</b>	<b>16/39j</b>	<b>23/56l</b>	<b>23/57e</b>	<b>35/89g</b>	<b>36/91i</b>	<b>32/76f</b>
<b>Tamanho</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>	<b>matriz</b>
<b>Zona</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>	<b>centro</b>
SiO <sub>2</sub>	43,46	45,63	42,91	44,28	43,40	45,39	50,25	49,66	43,63
TiO <sub>2</sub>	1,53	0,94	1,43	1,10	1,47	1,49	0,73	1,11	1,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,47	6,27	6,24	6,06	6,97	6,62	2,04	2,40	6,69
FeO	23,82	22,97	26,26	22,24	23,00	16,00	14,56	14,06	20,87
MnO	0,28	0,21	0,30	0,45	0,21	0,15	0,30	0,32	0,20
MgO	7,81	8,59	6,10	9,06	8,18	12,94	13,63	14,21	9,42
CaO	10,13	10,43	9,96	9,77	10,25	10,83	17,01	16,56	10,37
Na <sub>2</sub> O	1,94	1,47	2,35	2,19	2,10	1,98	0,19	0,22	2,14
K <sub>2</sub> O	0,93	0,82	1,10	1,01	1,16	0,98	0,00	0,00	1,04
F	1,49	1,07	1,98	2,42	1,64	1,78	0,00	0,00	2,01
Cl	0,30	0,35	0,37	0,18	0,40	0,24	0,00	0,00	0,40
<b>Total</b>	<b>98,15</b>	<b>98,74</b>	<b>98,99</b>	<b>98,77</b>	<b>98,78</b>	<b>98,38</b>	<b>98,69</b>	<b>98,56</b>	<b>98,19</b>
O_F_Cl	0,7000	0,5300	0,9200	1,0600	0,7800	0,8000	0,0000	0,0000	0,9400
O_F	0,6300	0,4500	0,8300	1,0200	0,6900	0,7500	0,0000	0,0000	0,8500
O_Cl	0,0700	0,0800	0,0800	0,0400	0,0900	0,0500	0,0000	0,0000	0,0900
H <sub>2</sub> O	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Ctotal</b>	<b>97,4500</b>	<b>98,2100</b>	<b>98,0700</b>	<b>97,7100</b>	<b>98,0000</b>	<b>97,5800</b>	<b>98,6900</b>	<b>98,5600</b>	<b>97,2500</b>
TSi	6,8710	7,0500	6,8980	6,9770	6,8300	6,8980	7,2360	7,1420	6,8640
TAI	1,1290	0,9500	1,1020	1,0230	1,1700	1,1020	0,3450	0,4070	1,1360
TFe <sub>3</sub>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4190	0,4510	0,0000
TTi	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Soma_T</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>	<b>8,0000</b>
CAI	0,0750	0,1900	0,0800	0,1010	0,1220	0,0820	0,0000	0,0000	0,1030
CCr	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CFe <sub>3</sub>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5550	0,5540	0,0000
CTi	0,1820	0,1090	0,1730	0,1300	0,1750	0,1700	0,0790	0,1200	0,1680
CMg	1,8410	1,9790	1,4610	2,1280	1,9200	2,9330	2,9260	3,0470	2,2090
CFe <sub>2</sub>	2,9020	2,7220	3,2860	2,6410	2,7830	1,8150	0,7800	0,6870	2,5190
CMn	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0360	0,0390	0,0000
CCa	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6240	0,5530	0,0000
<b>Soma_C</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>5,0000</b>
BMg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
BFe <sub>2</sub>	0,2470	0,2460	0,2450	0,2900	0,2440	0,2180	0,0000	0,0000	0,2260
BMn	0,0370	0,0280	0,0400	0,0600	0,0280	0,0190	0,0000	0,0000	0,0260
BCa	1,7150	1,7260	1,7150	1,6500	1,7280	1,7630	2,0000	2,0000	1,7480
BNa	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>Soma_B</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>	<b>2,0000</b>
ACa	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
ANa	0,5930	0,4390	0,7330	0,6700	0,6420	0,5830	0,0520	0,0620	0,6530
AK	0,1870	0,1610	0,2250	0,2030	0,2330	0,1890	0,0000	0,0000	0,2080
<b>Soma_A</b>	<b>0,7800</b>	<b>0,6000</b>	<b>0,9580</b>	<b>0,8730</b>	<b>0,8750</b>	<b>0,7730</b>	<b>0,0520</b>	<b>0,0620</b>	<b>0,8610</b>
<b>Soma_CAT</b>	<b>15,7800</b>	<b>15,6000</b>	<b>15,9580</b>	<b>15,8730</b>	<b>15,8750</b>	<b>15,7730</b>	<b>15,0520</b>	<b>15,0620</b>	<b>15,8610</b>
CCl	0,0790	0,0920	0,1000	0,0480	0,1080	0,0610	0,0000	0,0000	0,1070
CF	0,7470	0,5210	1,0060	1,2050	0,8150	0,8570	0,0010	0,0020	1,0010
<b>Soma_OXY</b>	<b>23,0450</b>	<b>23,0290</b>	<b>23,1410</b>	<b>23,1060</b>	<b>23,0880</b>	<b>23,0470</b>	<b>23,0000</b>	<b>23,0000</b>	<b>23,0820</b>

